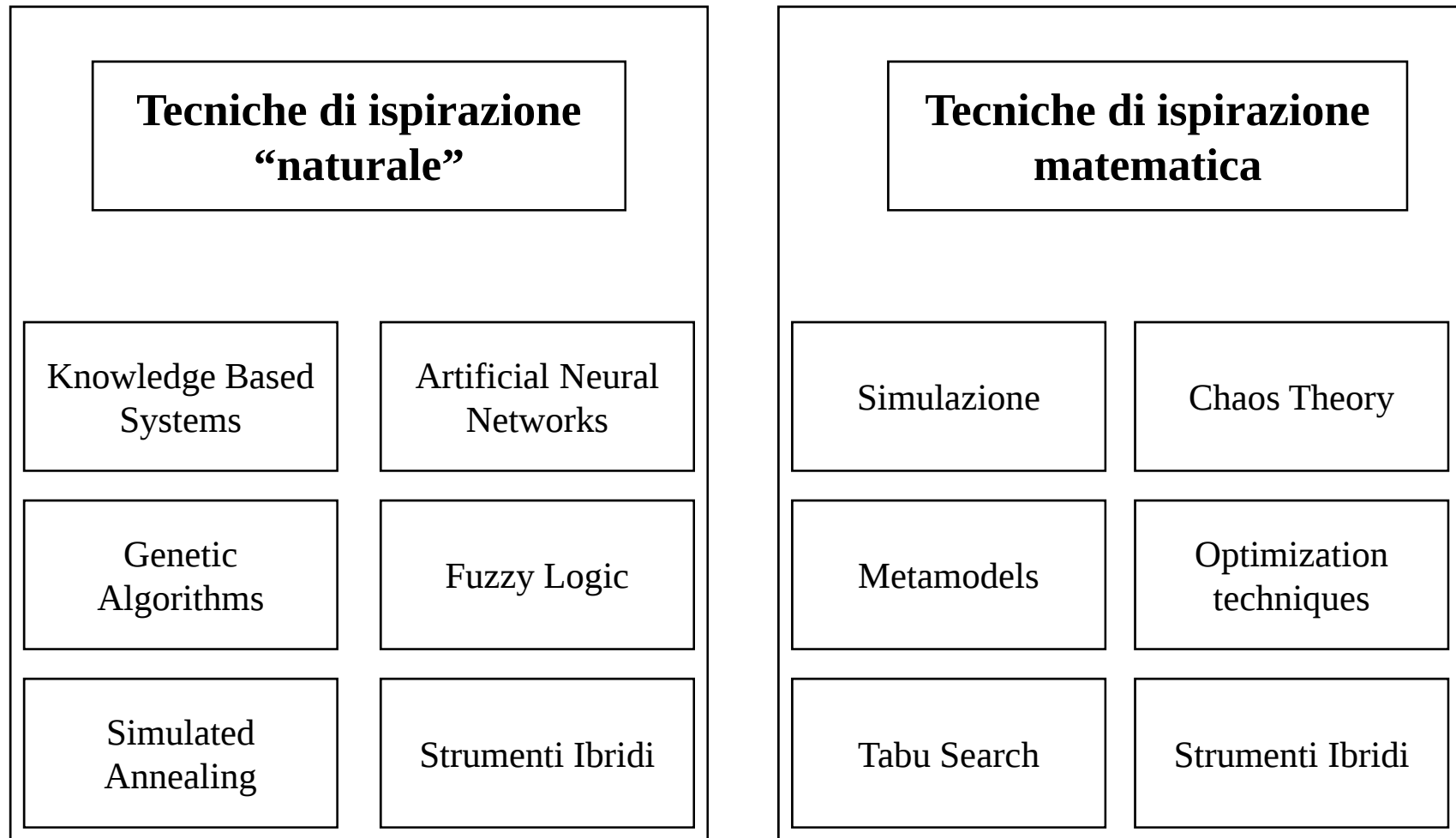


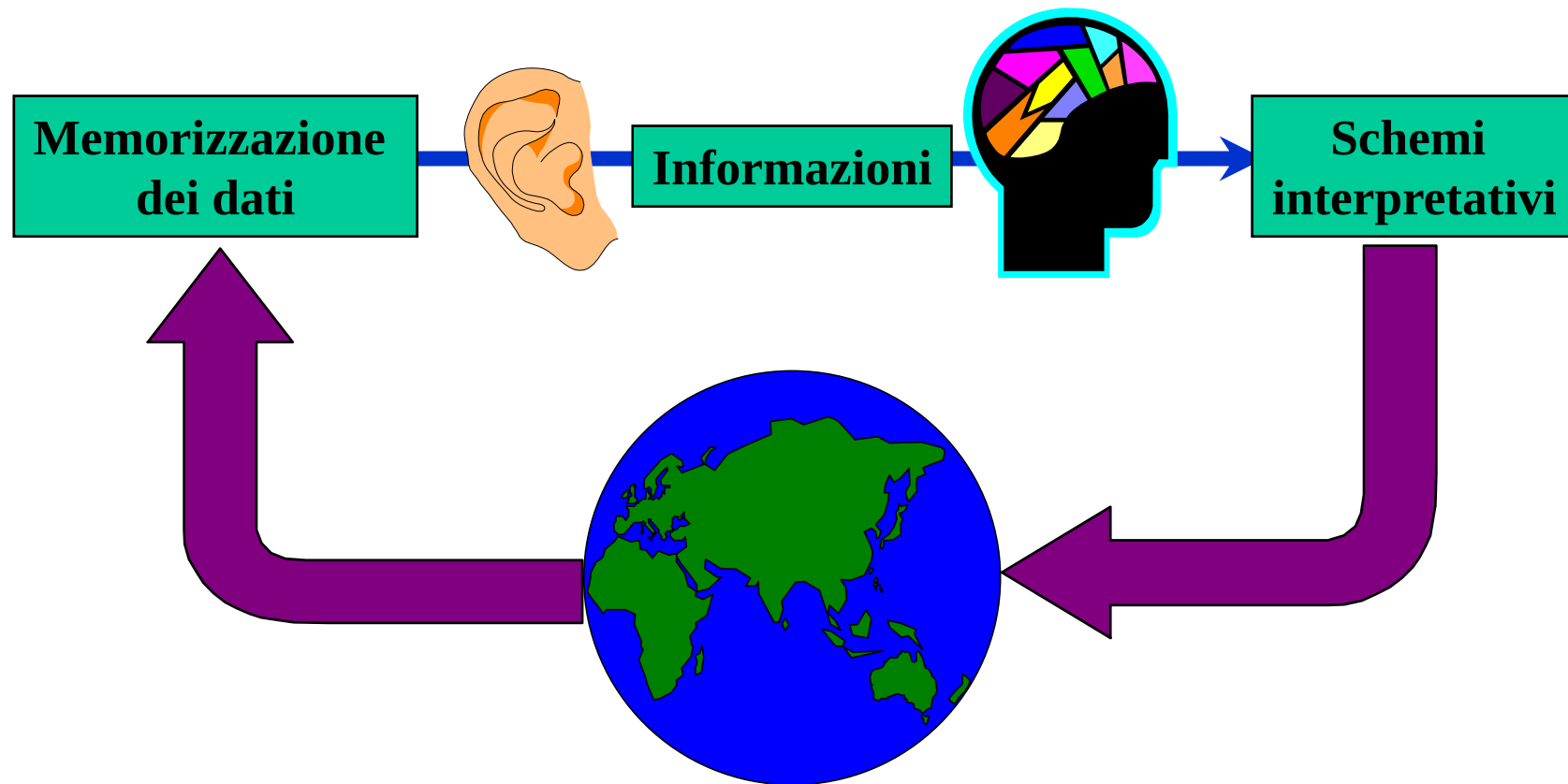
*Tecniche avanzate per la progettazione e gestione
dei sistemi produttivi*

Corso di Sistemi di Produzione
Automatizzati - Prof. Marco Taisch

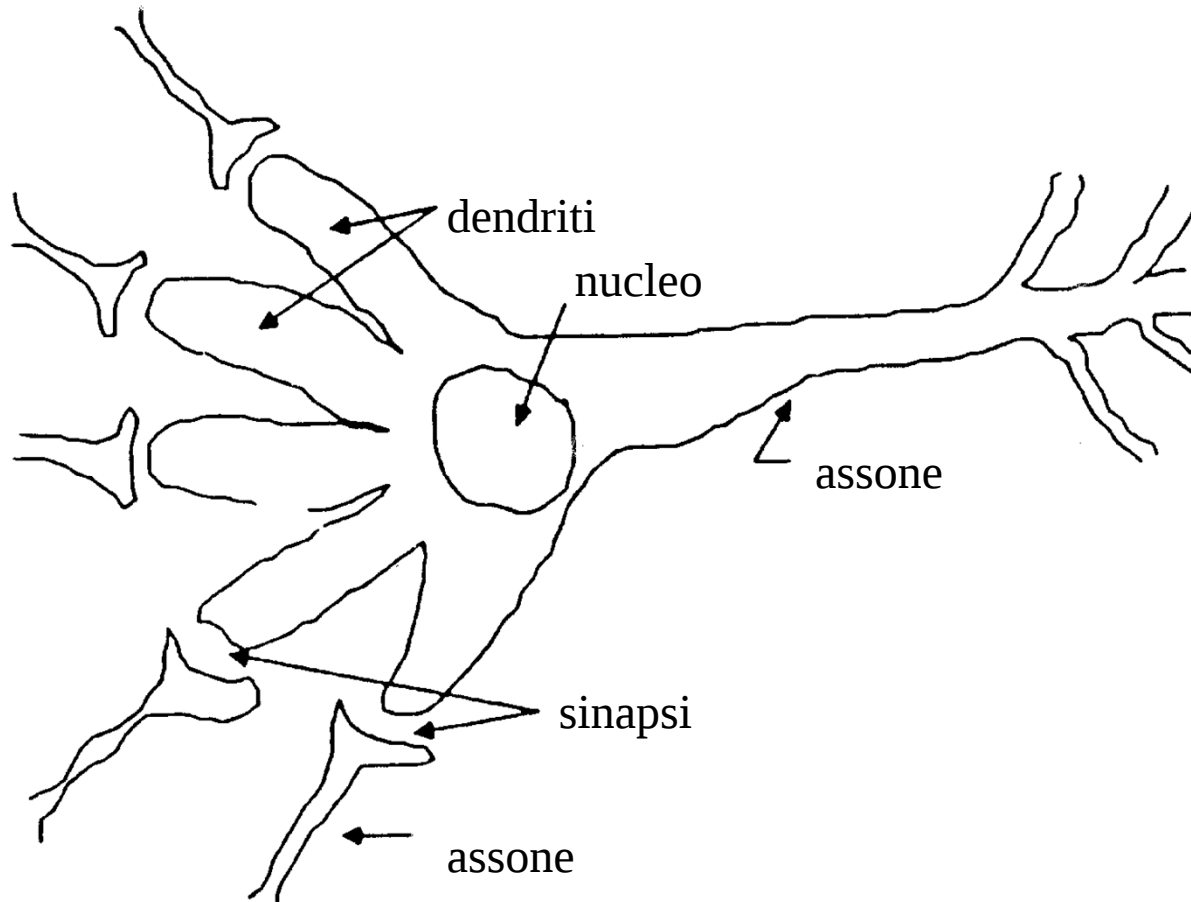
Quadro generale delle tecniche avanzate



Processo di formazione della conoscenza nell'uomo

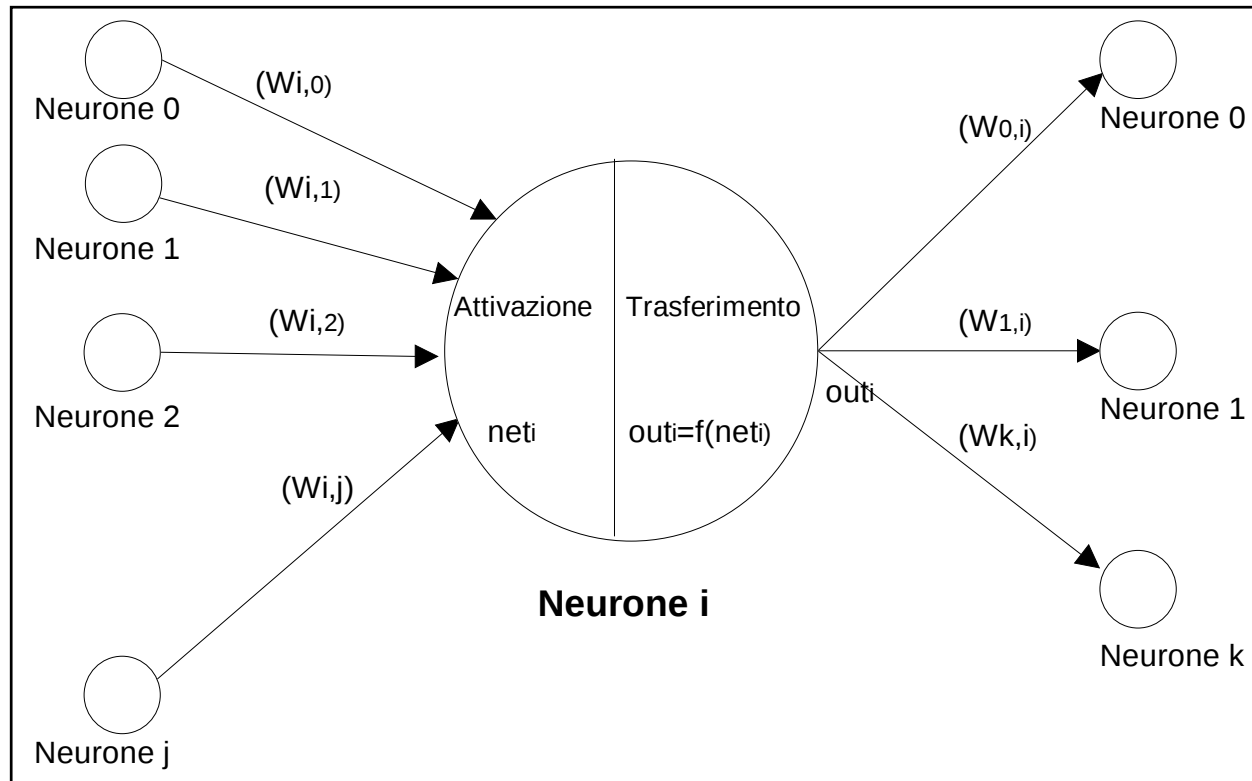


Il neurone biologico



- Il cervello umano contiene 10^{12} neuroni
- Le dimensioni di un neurone vanno da 0,01 mm a 1m (dipende dalla lunghezza dell'assone)
- La connettività di un neurone varia da $O(1)$ a $O(10^5)$; ne segue che il numero di sinapsi nel cervello è di $O(10^{15})$

Il neurone artificiale



$$net_i = \sum_j w_{i,j} out_j + \mathcal{I}_i$$

$$out_i = f(net_i)$$

i = indice del generico neurone

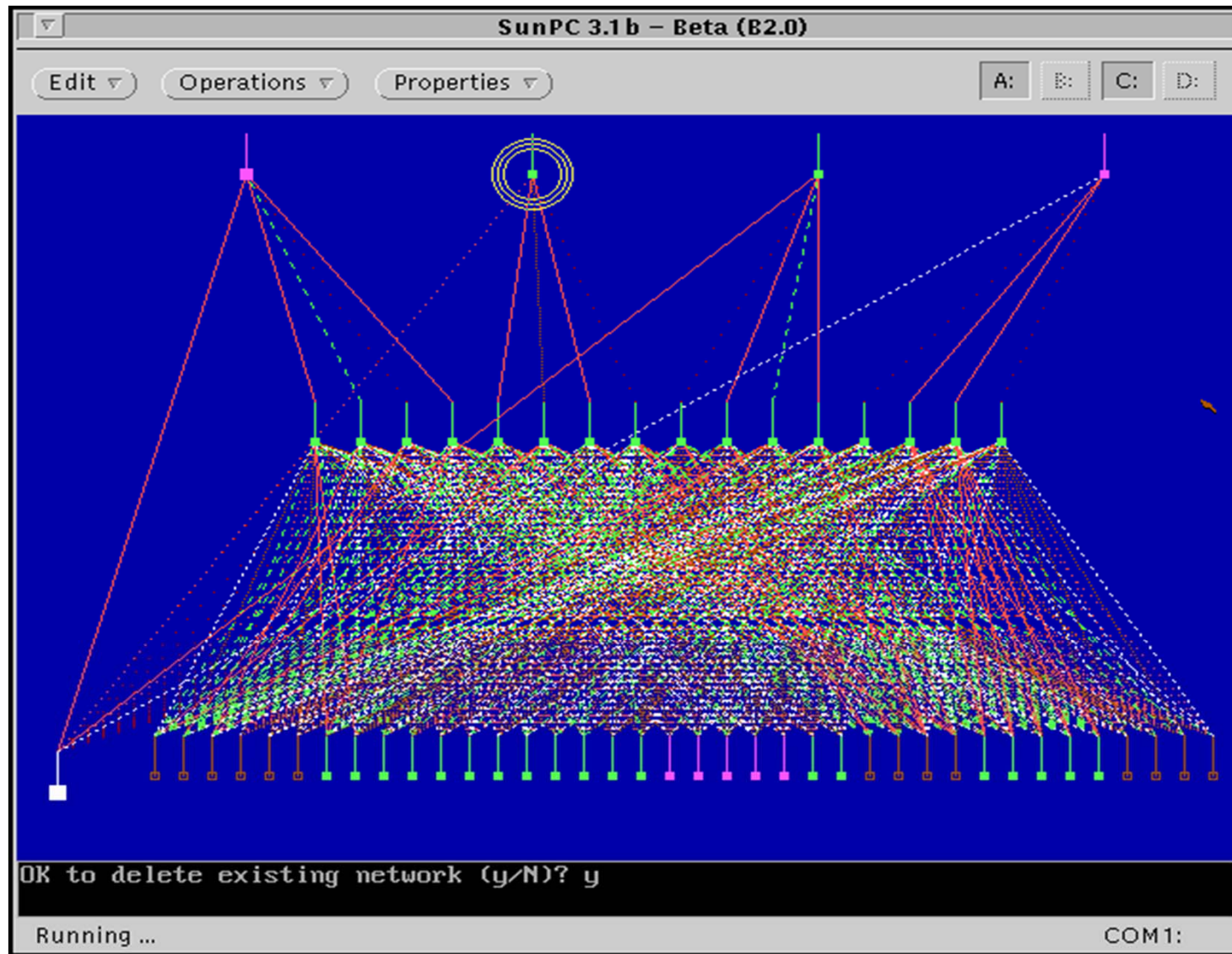
j = indice del generico neurone di input rispetto ad i

k = indice del generico neurone di output rispetto ad i

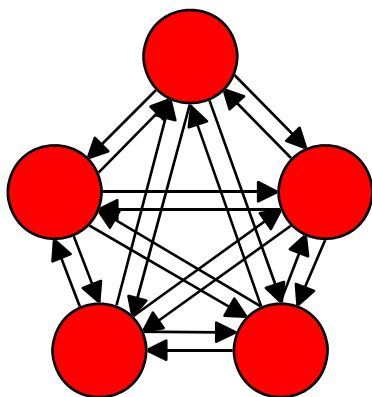
$j \in S_{input}$ (insieme dei neuroni di input di i)

$k \in S_{output}$ (insieme dei neuroni di output di i)

Esempio di una rete neurale artificiale



Topologie di reti neurali

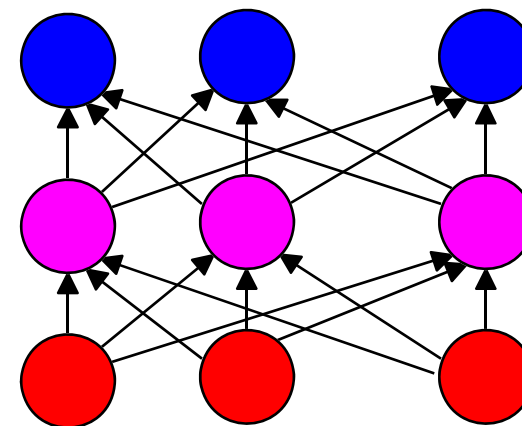


A)

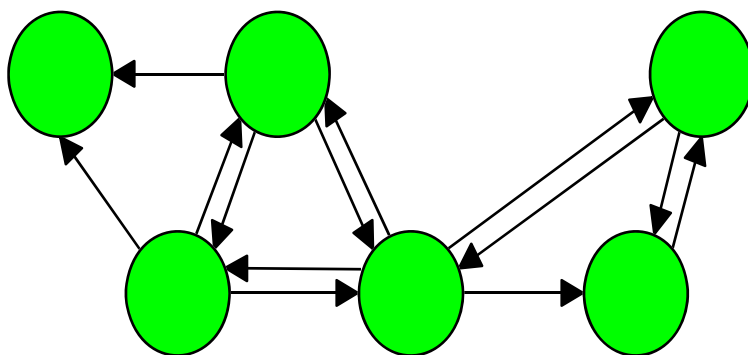
strato di output

strato nascosto

strato di input



C)



B)

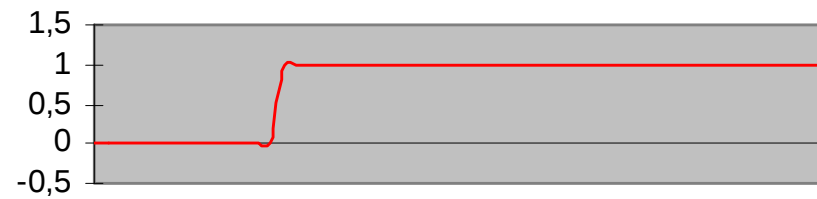
A): completamente interconnessa

B): parzialmente connessa

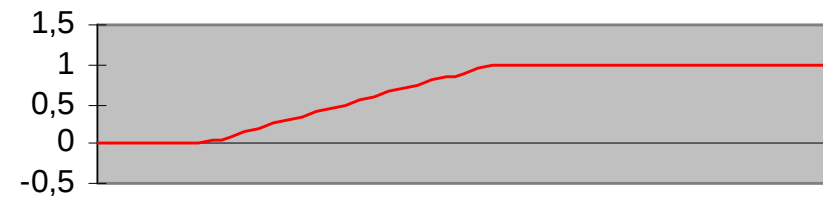
C): a strati

Funzioni di trasferimento

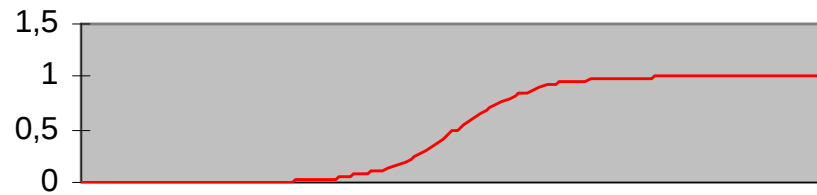
a gradino



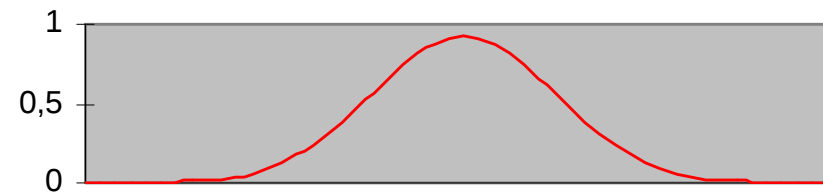
a rampa



sigmoidale



gaussiana

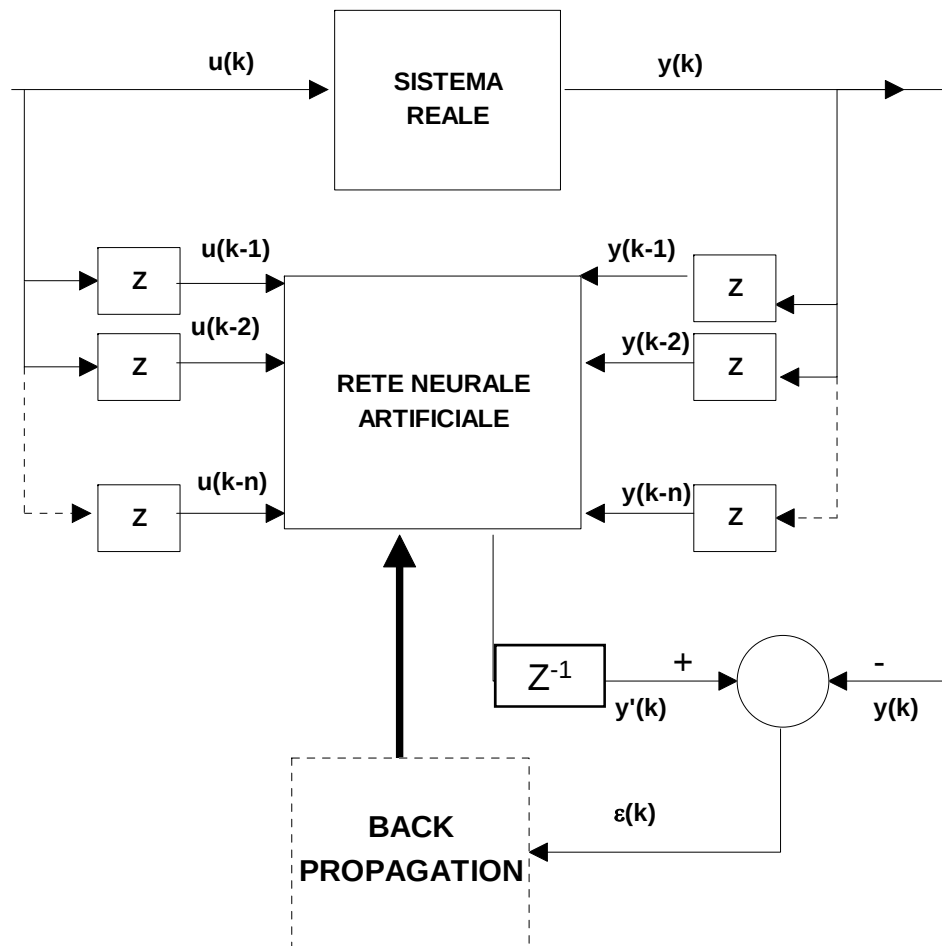


Conoscenza ed apprendimento

- La conoscenza non è formalizzata in regole (vedi i Sistemi esperti) ma è distribuita nel valore dei pesi delle connessioni;
- Forme di apprendimento disponibili
 - supervisionato
 - non supervisionato
 - a pesi fissi
- L'apprendimento avviene secondo opportuni algoritmi di aggiornamento dei pesi
- Regola di aggiornamento dei pesi (legge di Hebb):

$$W_{i,j}(t+1) = W_{i,j}(t) + \Delta W_{i,j}$$

Funzionamento delle rete in fase di apprendimento supervisionato



- L'obiettivo in fase di apprendimento consiste nella minimizzazione della seguente funzione di costo globale:

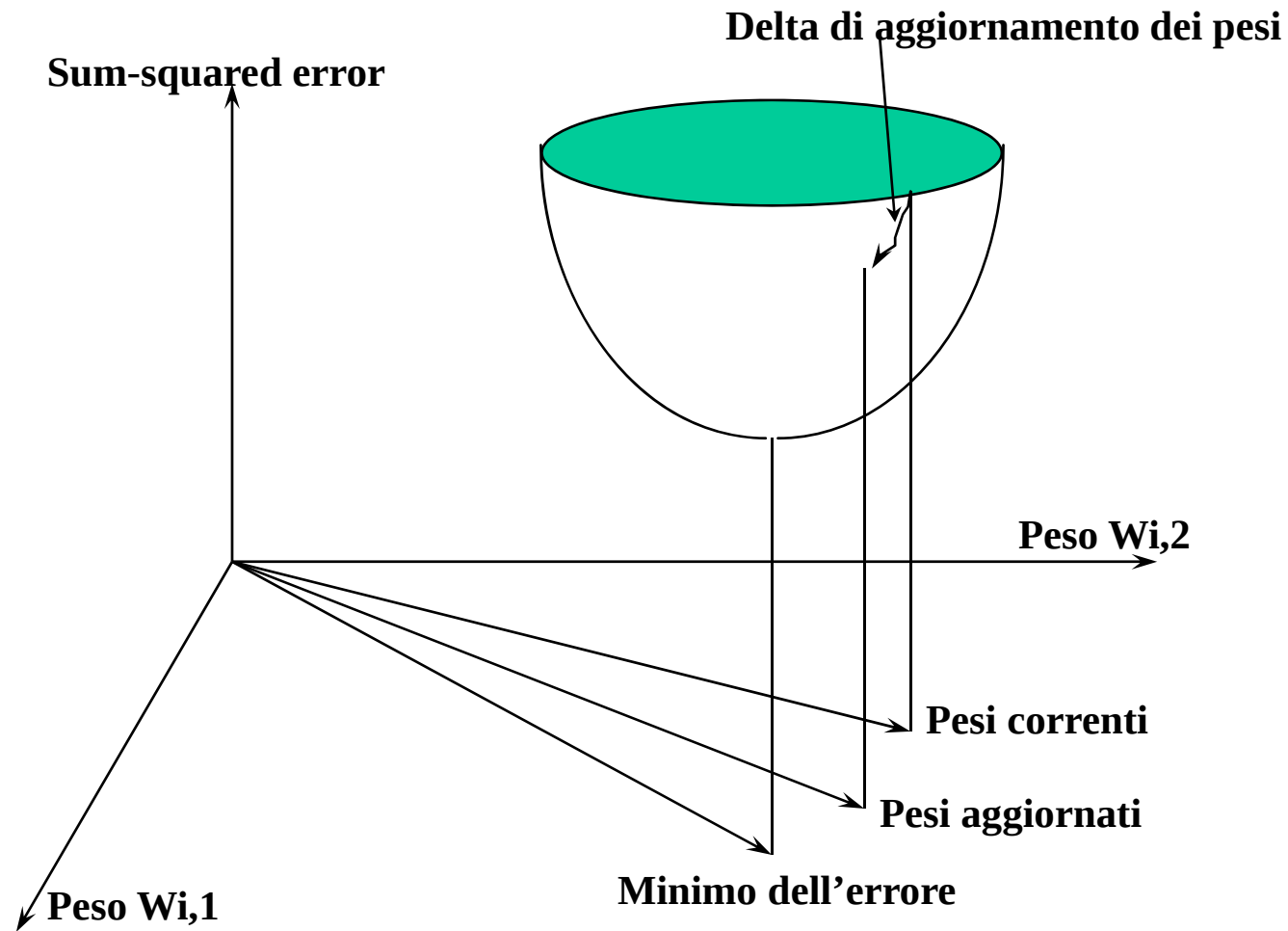
$$E = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (y'_n(t) - y_n(t))^2$$

- dove $y'_n(t)$ è il valore della n-sima uscita calcolata dalla rete neurale, avendo come ingresso il vettore $u(t)$.
- Questo obiettivo viene conseguito modificando ad ogni iterazione i singoli pesi di connessione dei neuroni. La legge di aggiornamento di tali pesi per un generico neurone j è data dalla regola a discesa del gradiente:

$$\Delta w_{ij}(t) = -\eta \cdot \frac{\partial E(t)}{\partial w_{ij}(t)} + \alpha \cdot \Delta w_{ij}(t-1)$$

- dove:
 - η è detto coefficiente di apprendimento
 - α è detto coefficiente di inerzia o di momento.

Andamento dell'errore



Applicazioni di tipo generale: Classificazione e riconoscimento

- Riconoscimento di immagini
 - caratteri scritti a mano, a macchina, giapponesi (Sharp, Mitsubishi Electric)
 - controllo qualità in produzione
 - esplosivi nei bagagli aerei
 - esplorazioni petrolifere (Texaco, Arco)
 - individuazione di bersagli militari
- Applicazioni mediche
 - analisi di EEG ed ECG
 - analisi di TAC
- Droga
 - identificazione di campioni di cocaina
- Determinazione età dei reperti fossili

Applicazioni di tipo generale: Previsioni

- approvazione di prestiti (Chase Manhattan Bank)
- mercati finanziari (Merrill Lynch, Salomon Brothers)
- allocazione dei posti sugli aerei (USAir)
- valutazione di aree residenziali
- sviluppo di nuovi medicinali
- consumo di energia termica ed elettrica

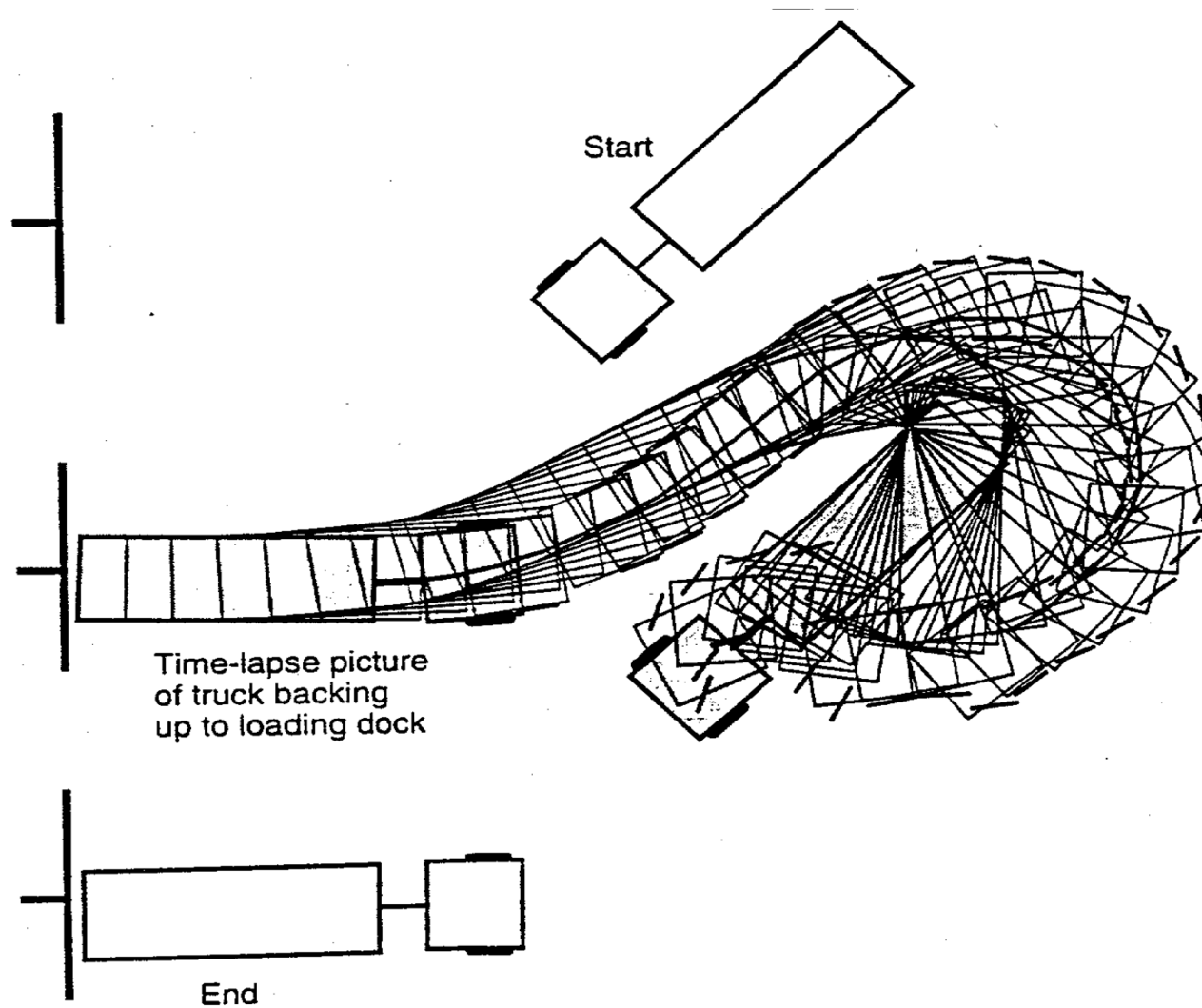
Applicazioni di tipo generale: Ottimizzazioni

- Percorsi per le consegne (DHL)
- Programmazione degli spot pubblicitari (Mediaset)
- Gestione della produzione
- Scelta del portafoglio investimenti

Applicazioni di tipo generale: Controllo

- Controllo dei movimenti di bracci di un robot
- Controllo della posizione dei satelliti (NASA)
- Processi industriali
 - chimici (Kodak)
 - raffinerie (Texaco)
 - produzione di acciaio (Nippon Steel)
 - alimentare (M&M/Mars)
- Rumori e vibrazioni
 - automobili (Ford)
 - condizionamento
 - telecomunicazioni (AT&T)
- Guida di veicoli (General Motors, Ford)

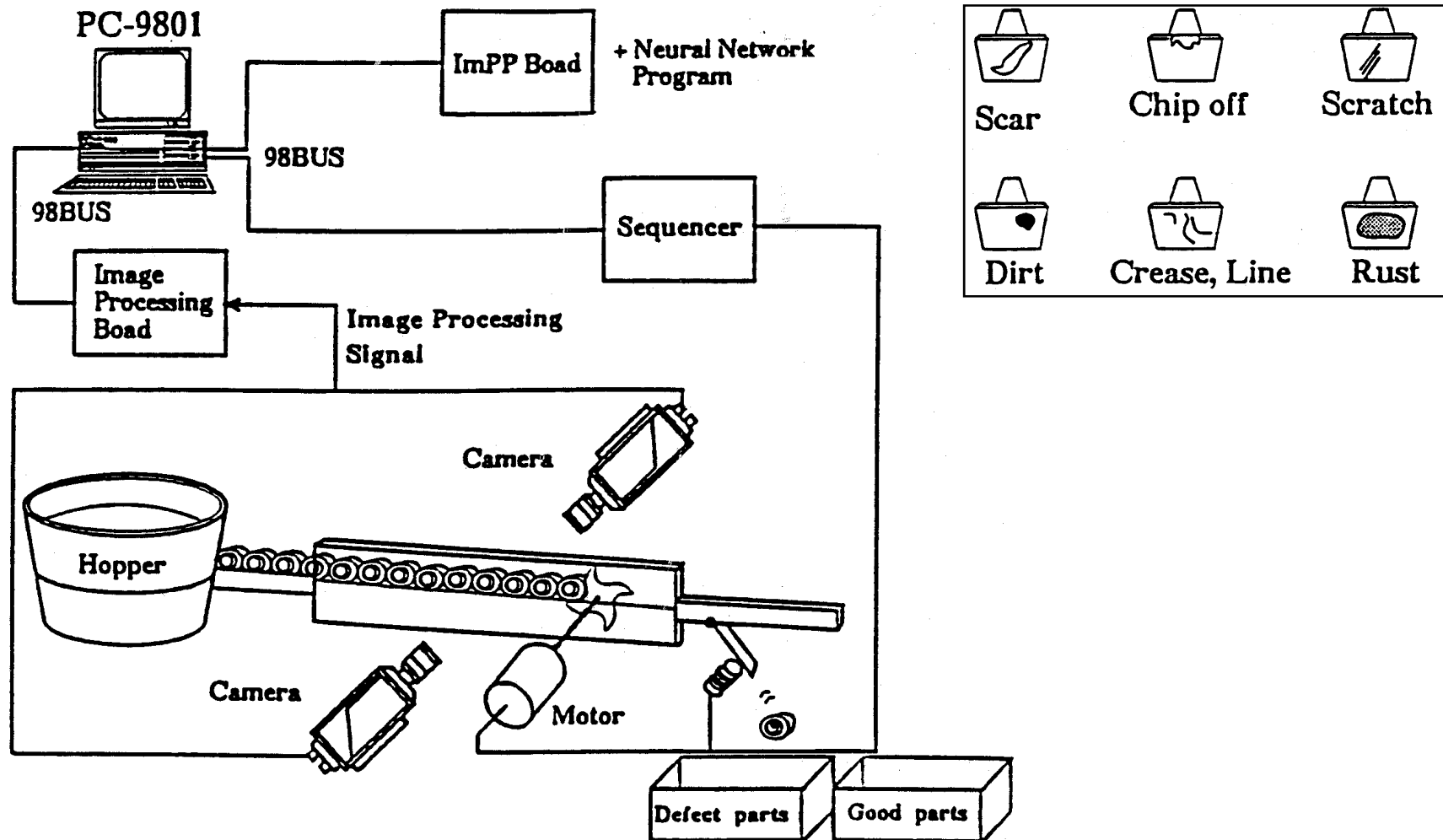
Parcheggio di un autotreno



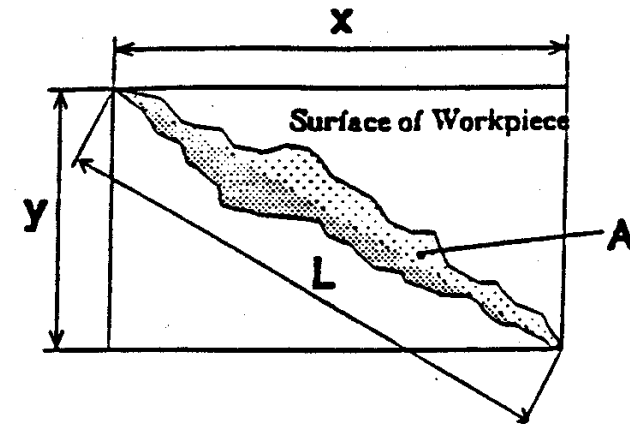
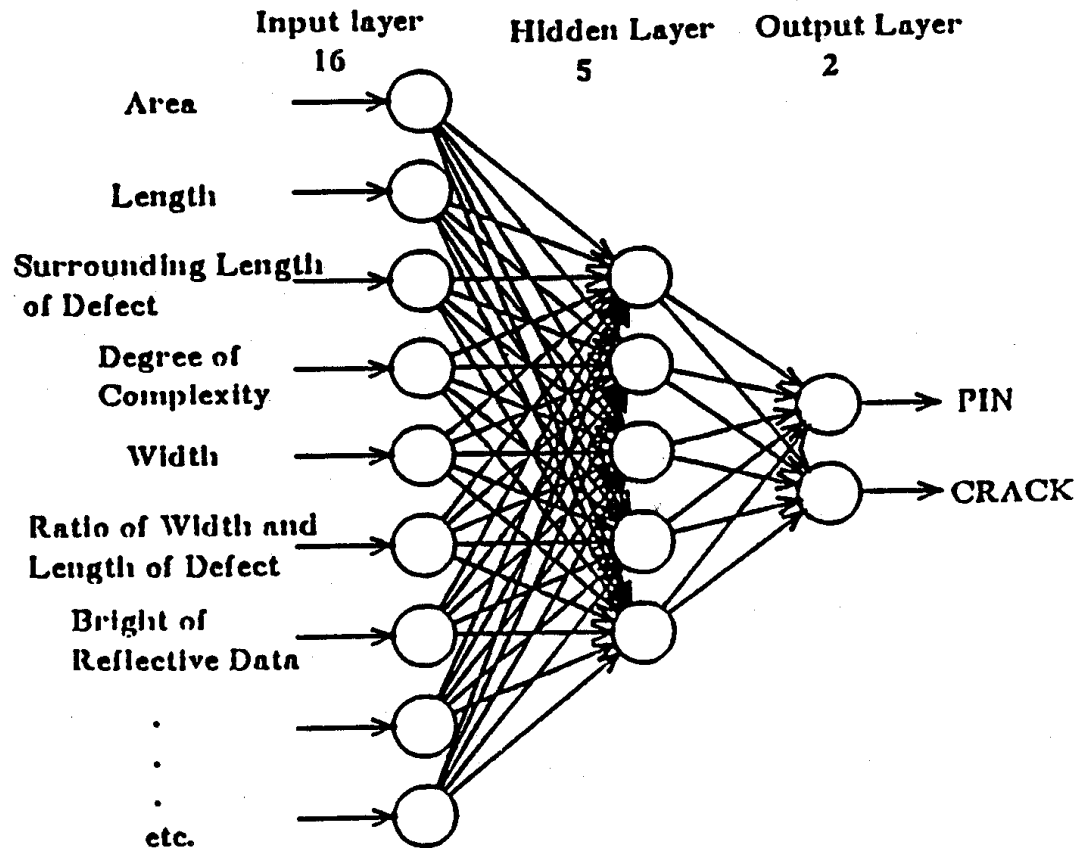
Applicazioni alla produzione industriale

• APPLICAZIONE	TIPI DI RETE
• Scheduling	rete di Hopfield
• Group technology	self-organizing feature
	map, ART
• Ispezione	MLP
• Diagnostica	MLP
• Taglio di metalli	MLP
• Previsioni	MLP
• Progettazione di prodotto	<i>dipende dalla applicazione</i>
• Identificazione	MLP
• Controllo di processo	MLP
• Gestione di impianto	<i>dipende dalla applicazione</i>

Sistema automatico di ispezione (1)



Sistema automatico di ispezione (2)

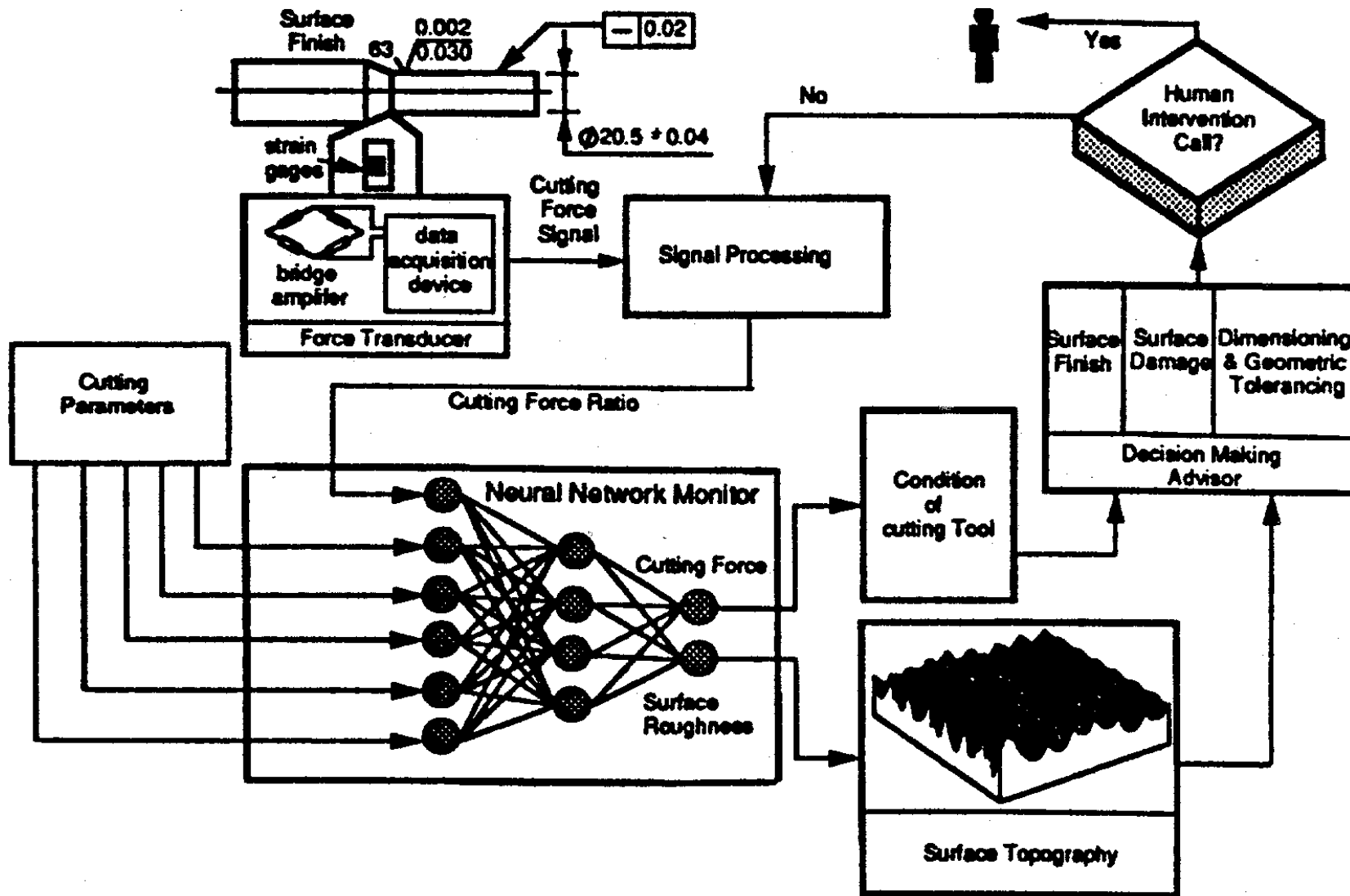


An Example of Crack

Features

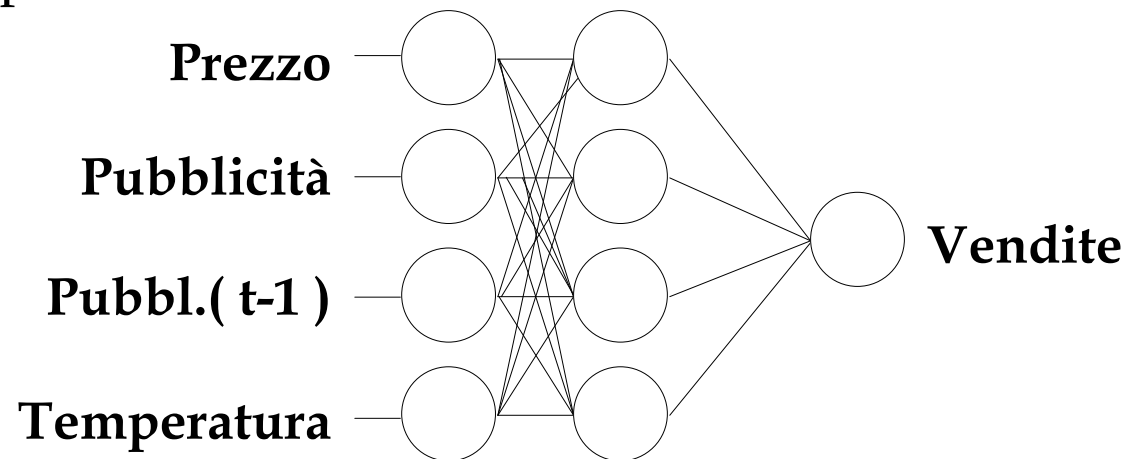
1. Area of Defect :A
2. Length of Defect :L
3. Surrounding Length of Defect :Ls
4. Degree of Complexity : $\theta = L^2 / A$
5. Ratio of Width and Length of Defect :S/L
6. Brightness of Reflective Data
7. Color of Defect
8. Feature of Surrounding Line of Defects

Monitoraggio on-line di lavorazioni meccaniche



Previsione della domanda

• Variabile	Media	Deviazione	Range
• Vendite	97.09	51.85	182.10
• Prezzo	19.54	2.67	10.50
• Pubblicità	87.39	111.04	308.18
• Pubblicità (mese passato)	87.39	111.04	308.18
• Temperatura	18.78	7.45	22.98

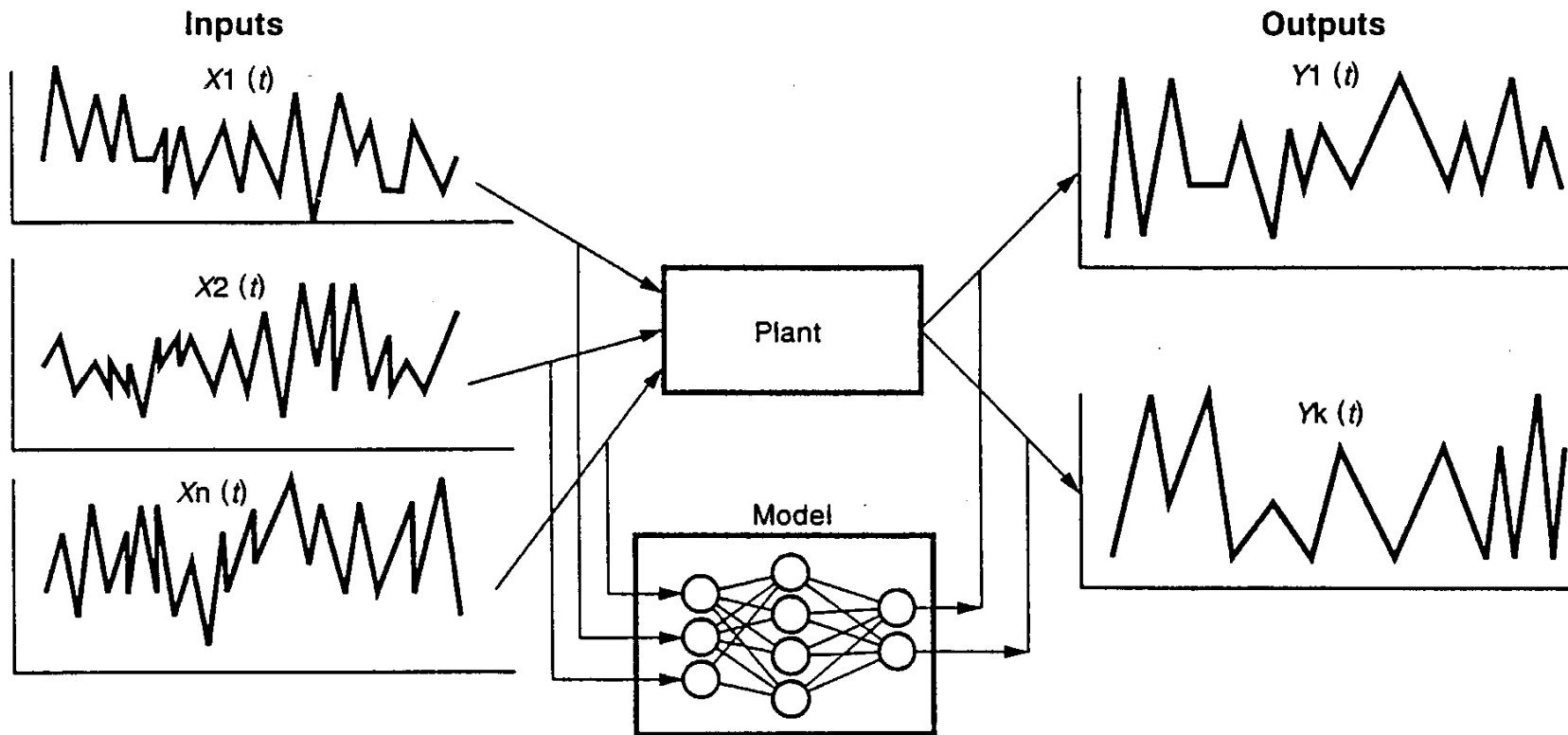


Progettazione di prodotto

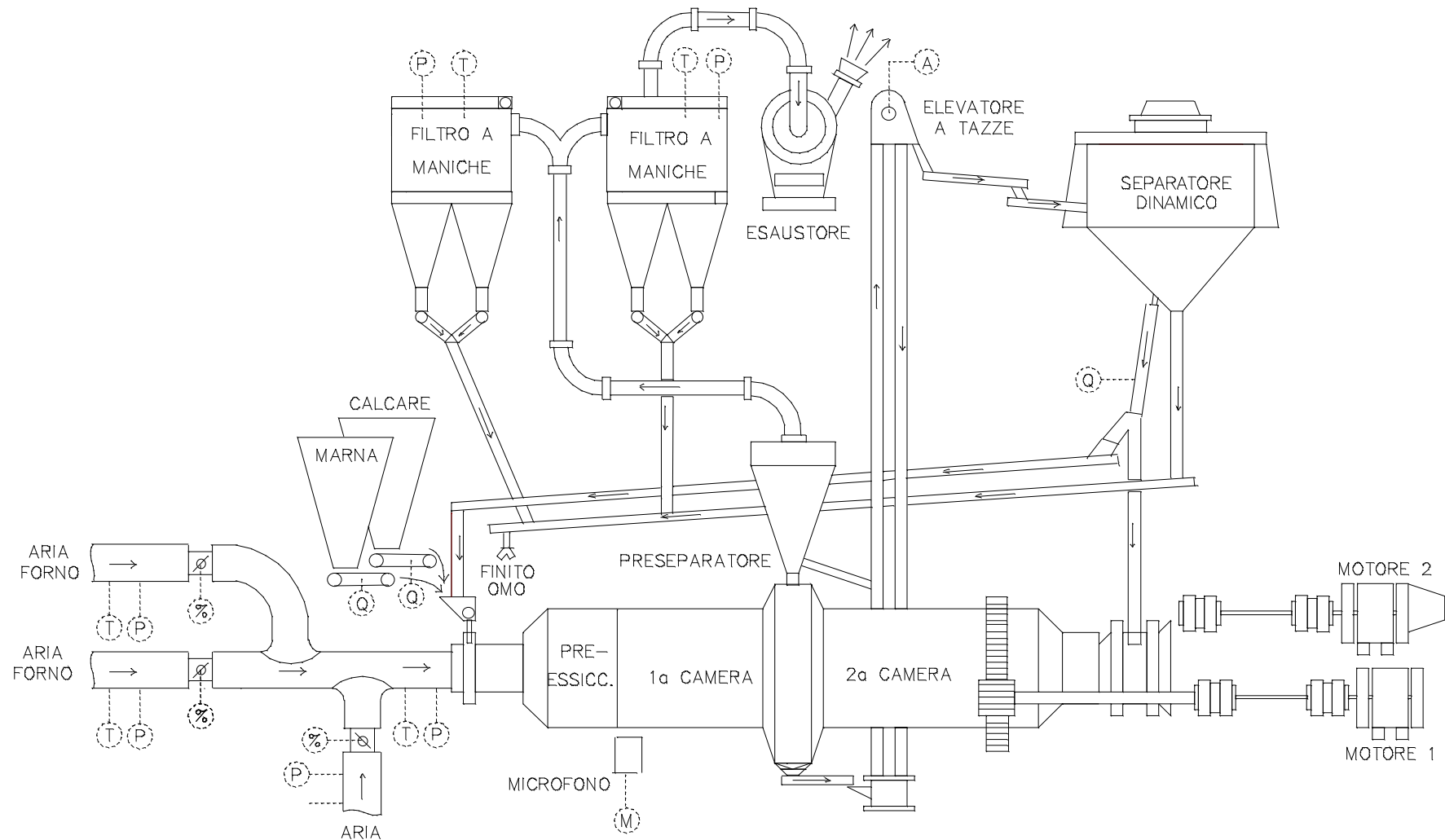
- memorizzano l'esperienza passata progettista
- applicazioni esistenti:
 - pezzi meccanici
 - prodotti chimici
 - industria automobilistica

INPUT	OUTPUT
geometria del pezzo	parametri di processo
geometria del pezzo parametri di processo	problemi di fusione
geometria del pezzo parametri di processo problemi di fusione	cause dei problemi

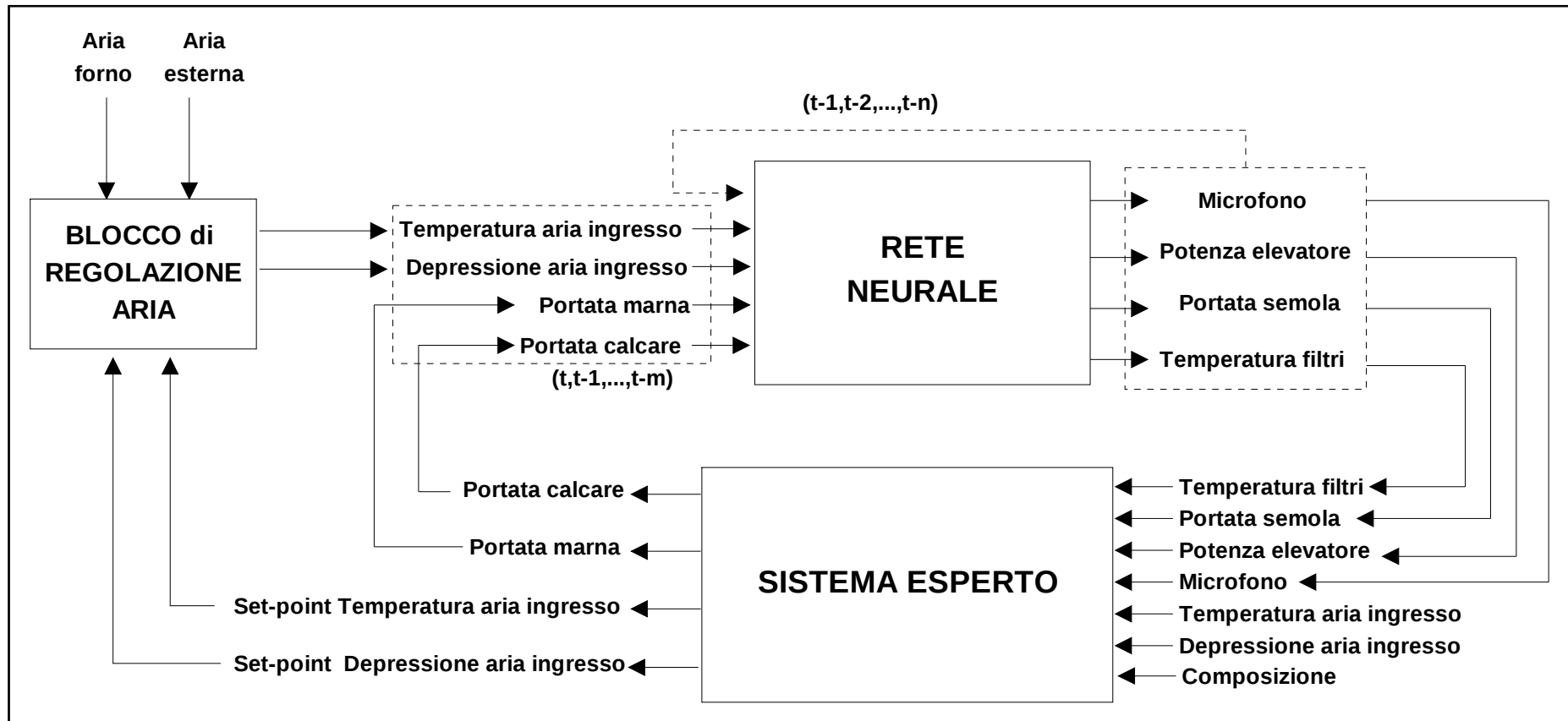
RN come emulatore adattativo di un impianto



Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (1): schema dell'impianto



Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (2): integrazione del sistema esperto con la rete neurale



*Controllo di un mulino per la macinazione della
farina cruda da cemento (3): progettazione della
rete neurale*

INPUT

NUMERO DEGLI INPUT

- Flusso calcare 3 (t; t-1; t-2)
- Flusso marna 3 (t; t-1; t-2)
- Temperatura aria ingresso 2 (t; t-1)
- Depressione aria ingresso 2 (t; t-1)
- Microfono 19 (t-1; t-2;t-19)
- Potenza elevatore 2 (t-1; t-2)
- Portata semola 2 (t-1; t-2)
- Temperatura filtri 5 (t-1; t-2; t-3; t-4; t-5)

OUTPUT

VALORE OUTPUT

- Microfono corrente (t)
- Potenza elevatore corrente (t)
- Portata semola corrente (t)
- Temperatura filtri corrente (t)

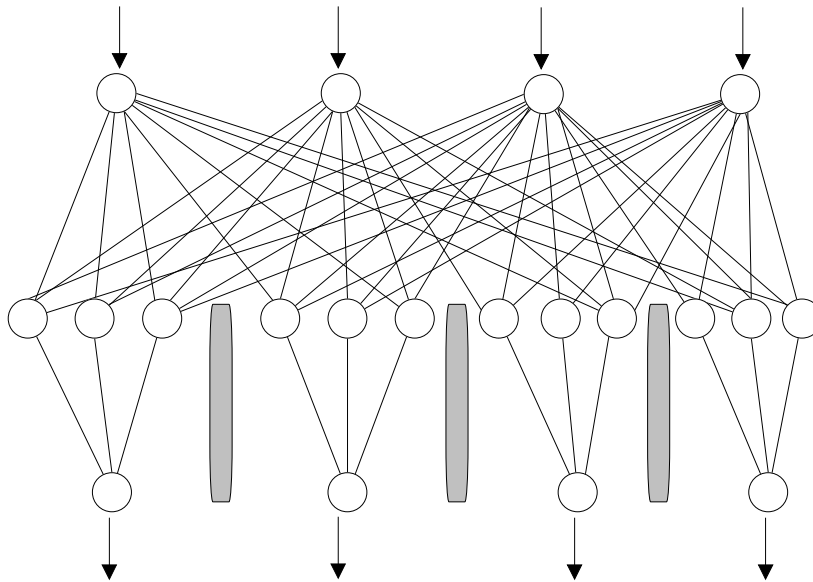
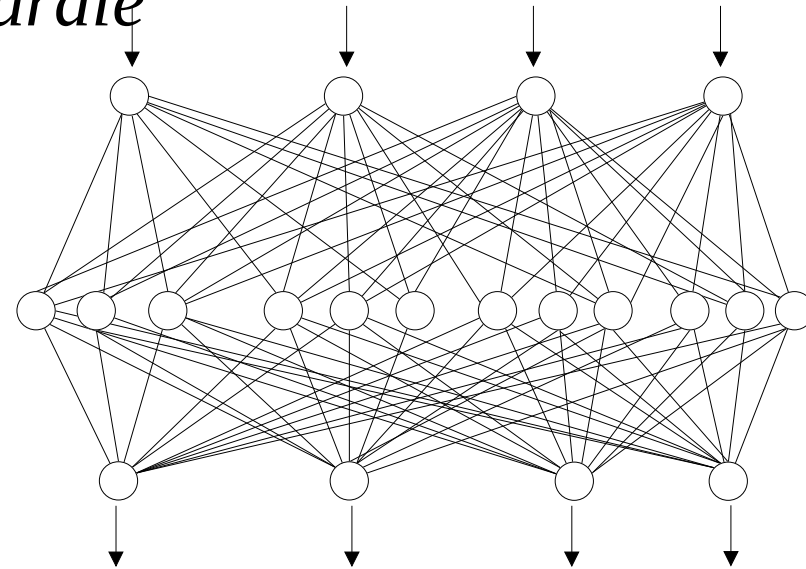
Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (4): modello della rete neurale

- Back-propagation Multi-layer-perceptron;
- Numero di strati: 3;
- Numero di neuroni
 - strato di input 38;
 - strato intermedio o nascosto 16
 - strato di output 4.
- Funzione di trasferimento degli strati di input e intermedio: funzione sigmoideale;
- sono stati testati differenti tipi di RN

	Funzioni di trasferimento lineare (strato di output)	Funzione di trasferimento sigmoideale (strato di output)
topologia neurale OCON	OCON lin	OCON sigm
topologia neurale ACON	ACON lin	ACON sigm

Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (5): topologie della rete neurale

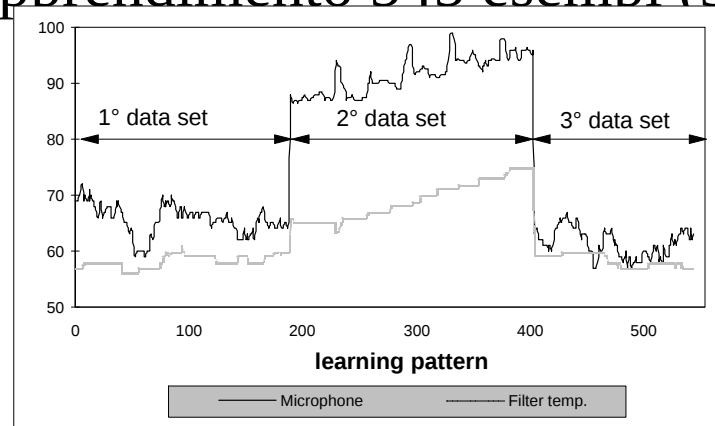
All-Class-in-One-Network
model (ACON)



One-Class-in-One-Network
model (OCON)

Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (6): fase di apprendimento

- Set di apprendimento 545 esempi (3 casi reali)



- Presentazione random dei pattern di dati
- Legge di apprendimento a discesa del gradiente con momento
- Apprendimento batch
- Range di normalizzazione dei dati di input: ± 0.6 (evita la saturazione dei neuroni)

Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (7): fase di test

- Set di test 92 esempi (3 casi reali)

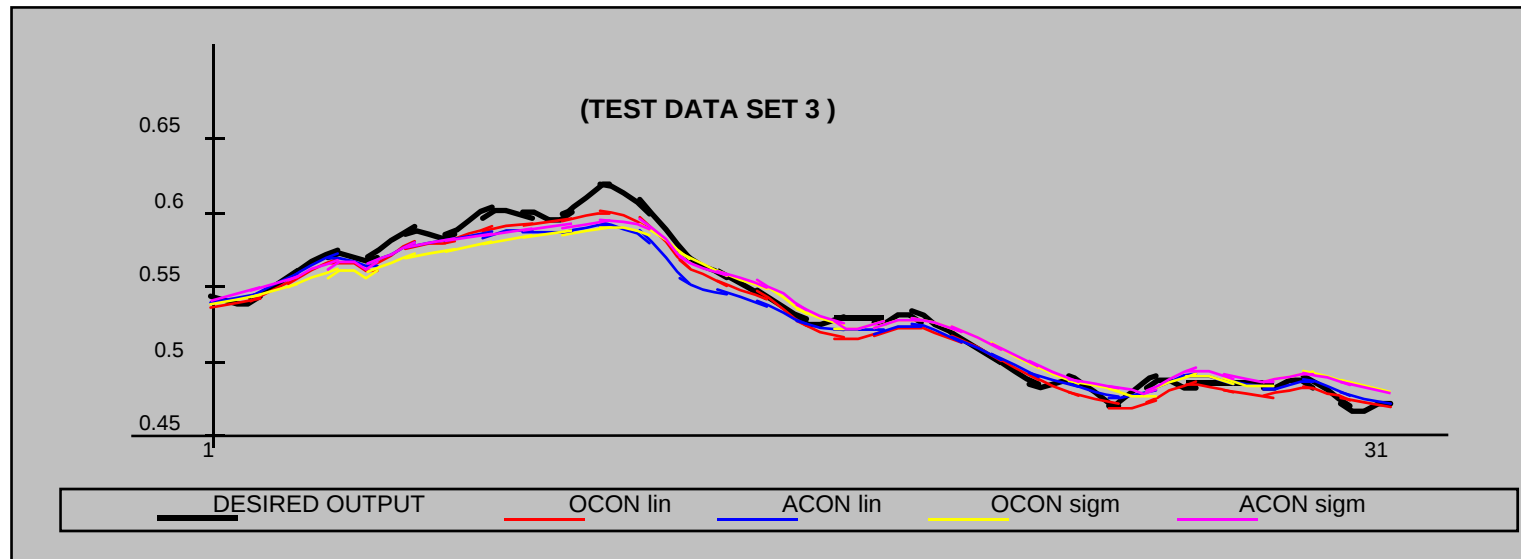
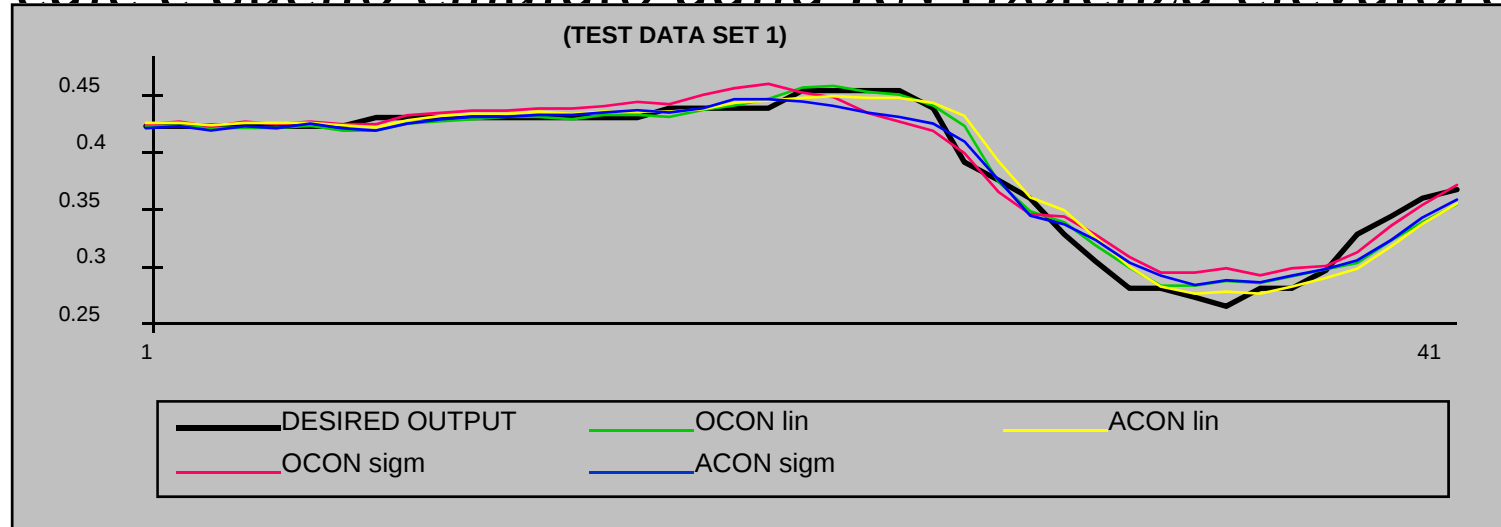
RMS errore del segnale del microfono

	OCON linear	ACON linear	OCON sigmoidal	ACON sigmoidal
TEST1	0.03329	0.03574	0.048587	0.053164
TEST2	0.012291	0.013841	0.014678	0.020964
TEST3	0.010752	0.012773	0.01427	0.011751

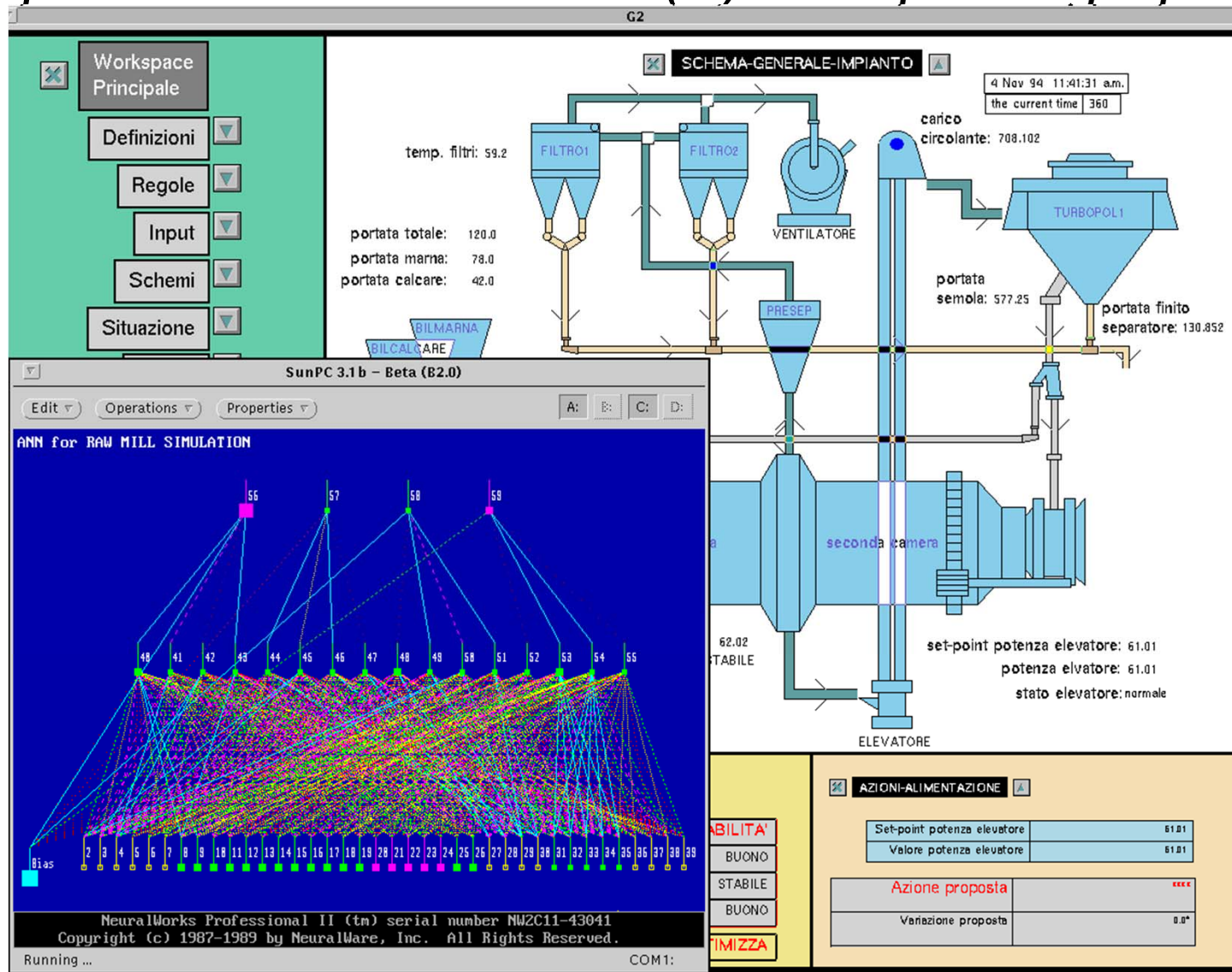
RMS errore della potenza dell'elevatore

	OCON linear	ACON linear	OCON sigmoidal	ACON sigmoidal
TEST1	0.009365	0.013031	0.011193	0.012597
TEST2	0.008388	0.008105	0.009022	0.008711
TEST3	0.011561	0.01095	0.01497	0.013091

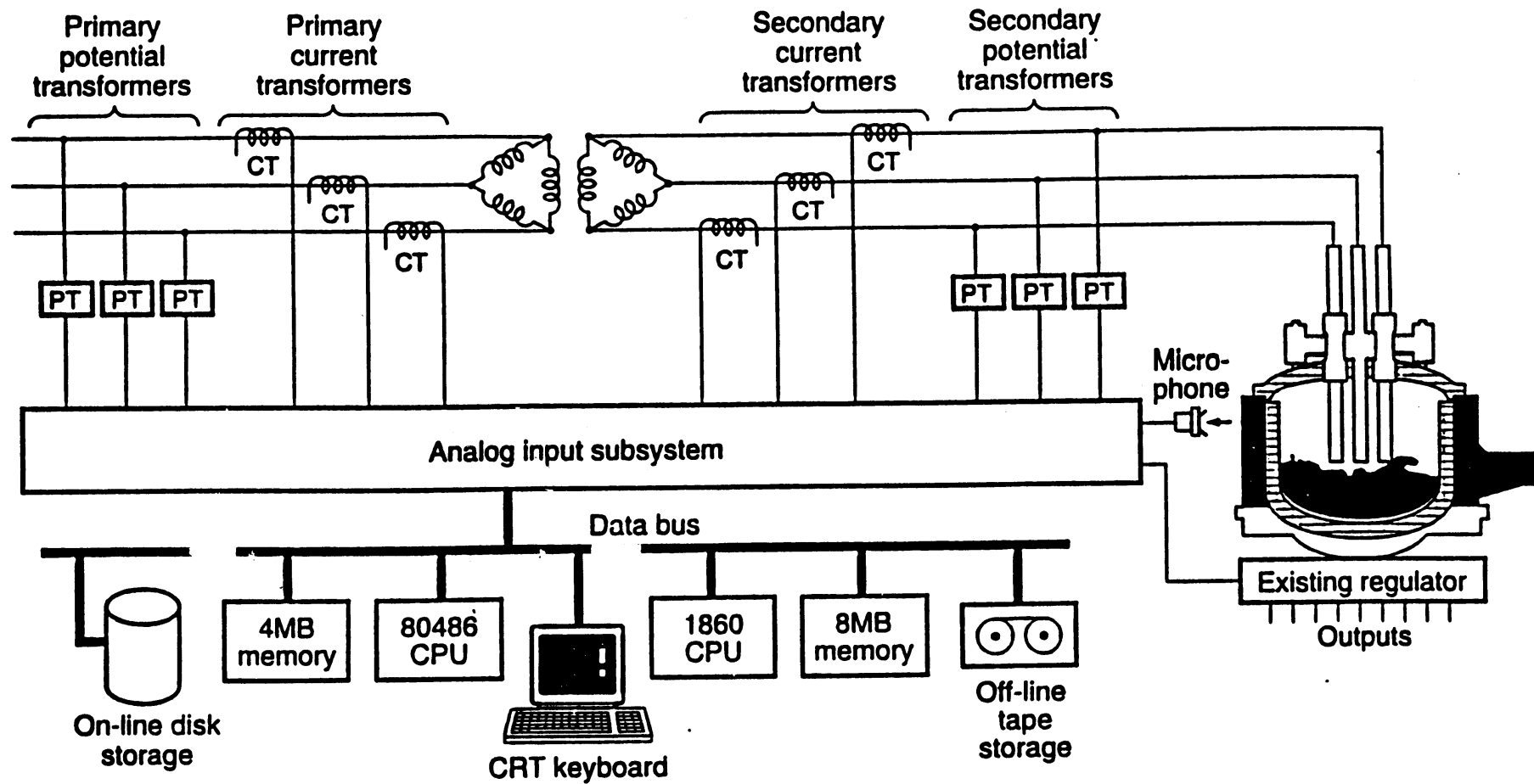
Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (8): confronto tra il segnale reale e quello emulato dalla RN (potenza elevatore)



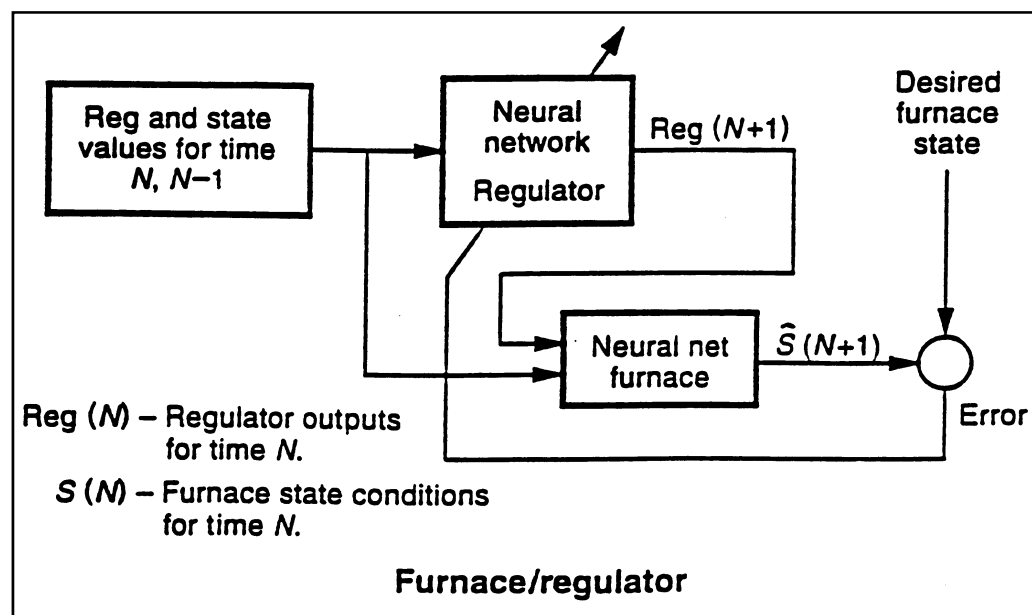
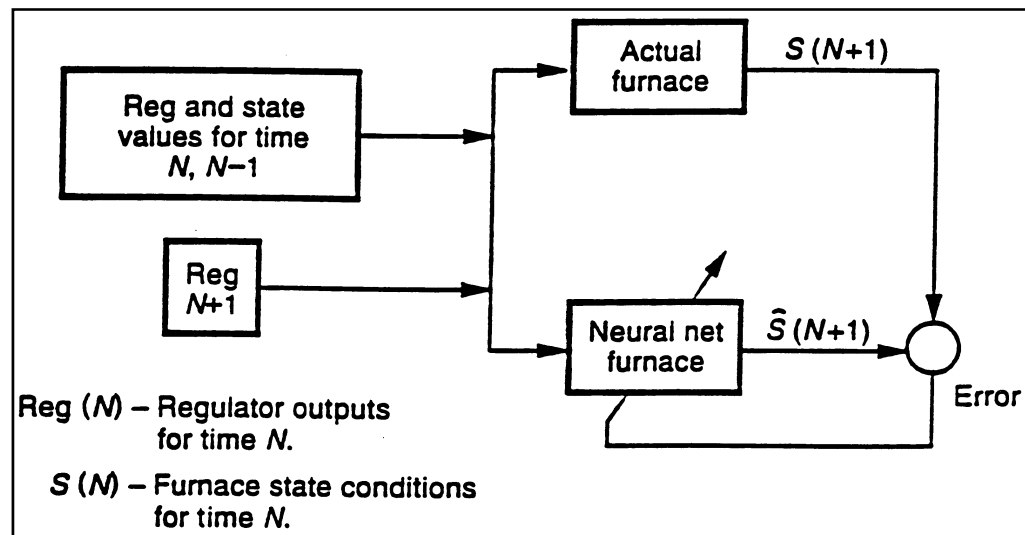
Controllo di un mulino per la macinazione della farina cruda da cemento (9): interfaccia grafico



Controllo di una fornace ad arco (1)



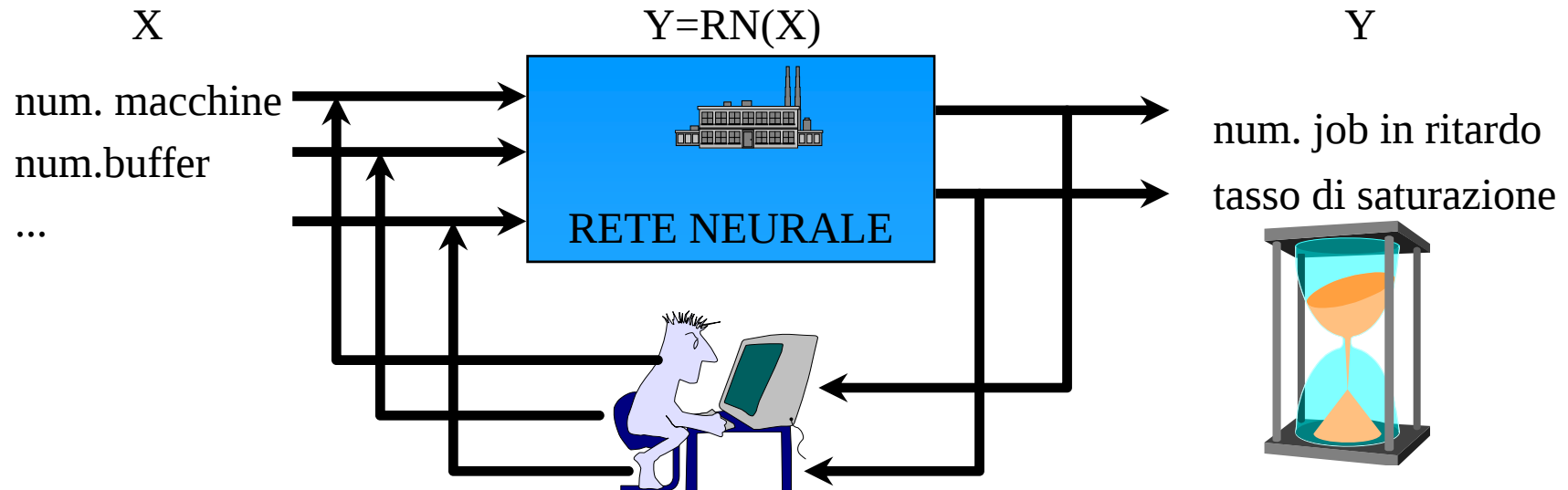
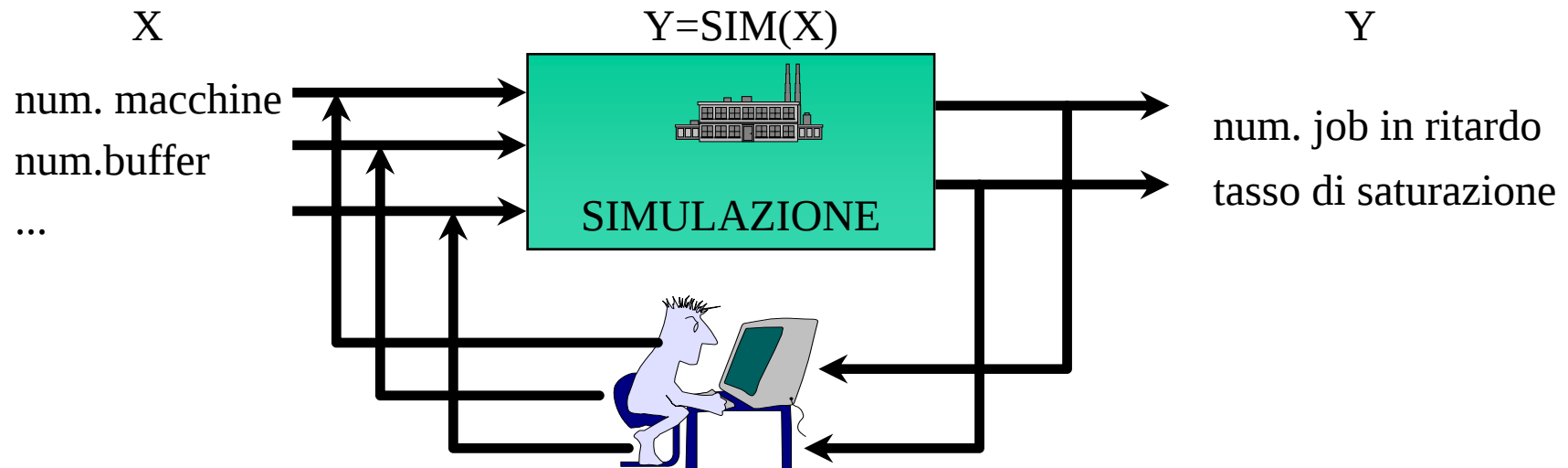
Controllo di una fornace ad arco (2)



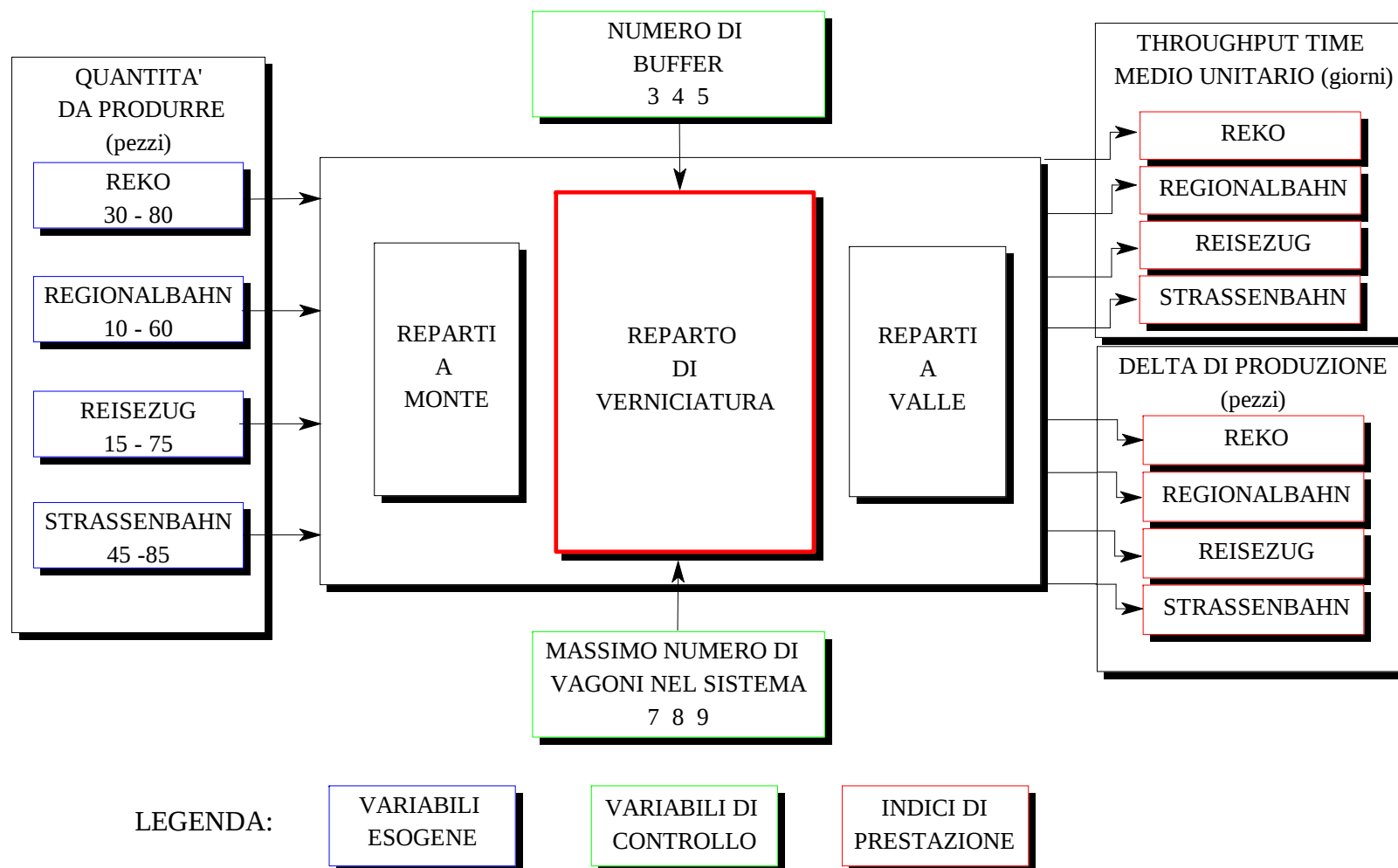
Altre applicazioni al controllo di processo

- processo di fermentazione
- processo di produzione della carta (spessore, consistenza, colore, ecc.)
- raffinazione idrocarburi
- industria farmaceutica
- stampi a iniezione termoplastica
- controllo dello slittamento di parti in movimento
- monitoraggio on-line di lavorazioni meccaniche
- controllo del colore nell'industria tessile

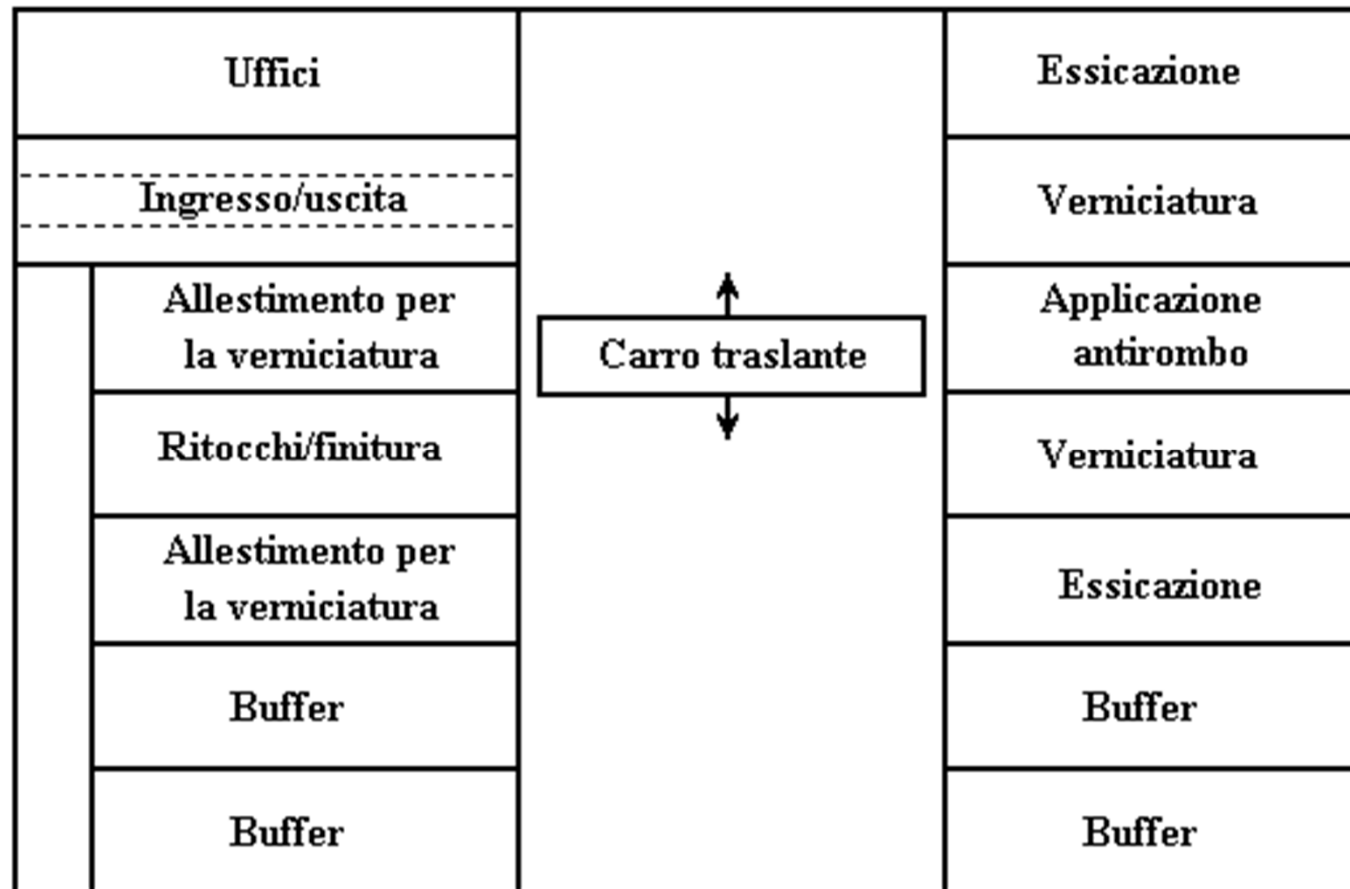
Costruzione di un simulatore neurale



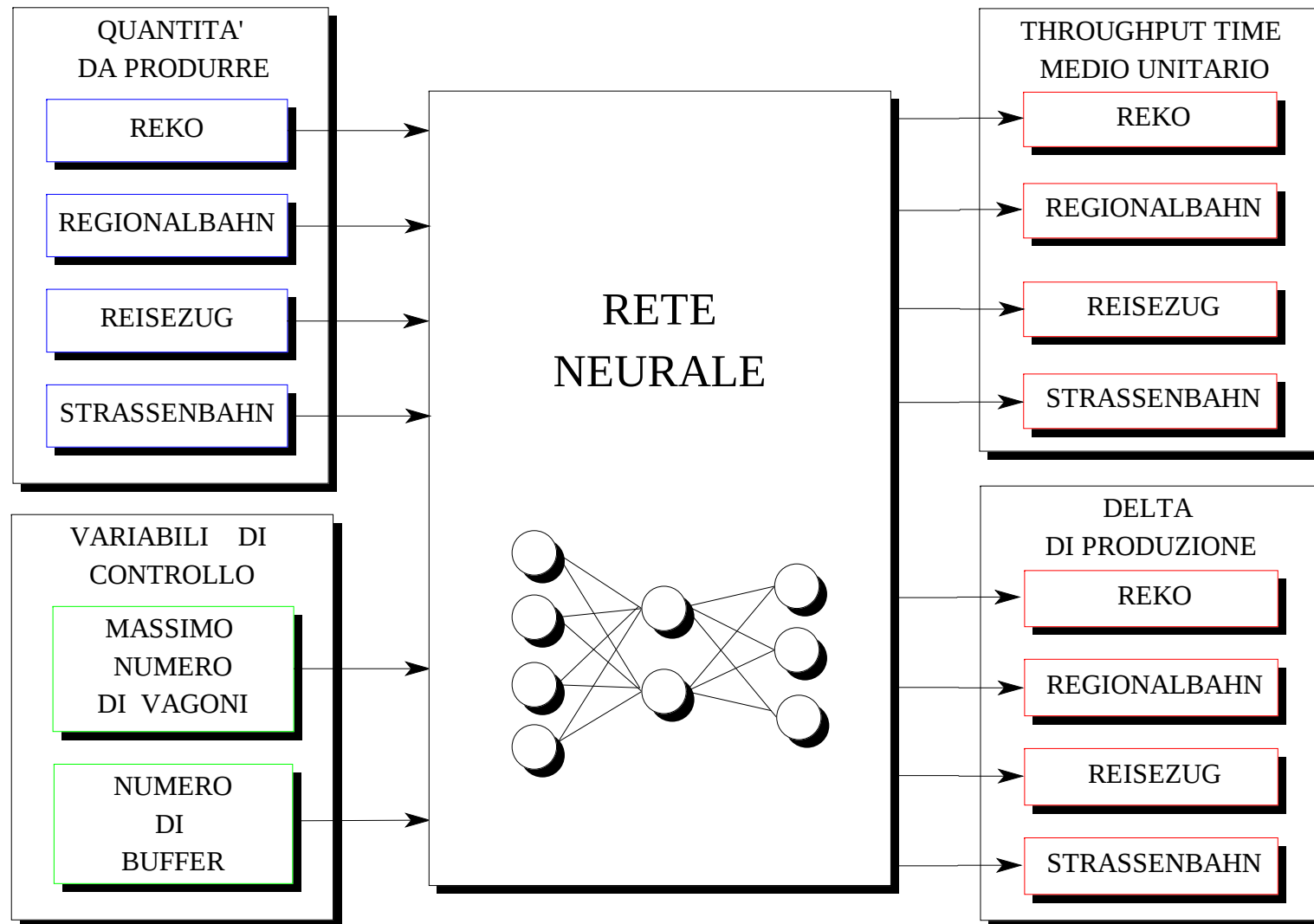
Simulatore neurale per la configurazione di un impianto di verniciatura di vagoni ferroviari (1): sistema di produzione di vagoni ferroviari



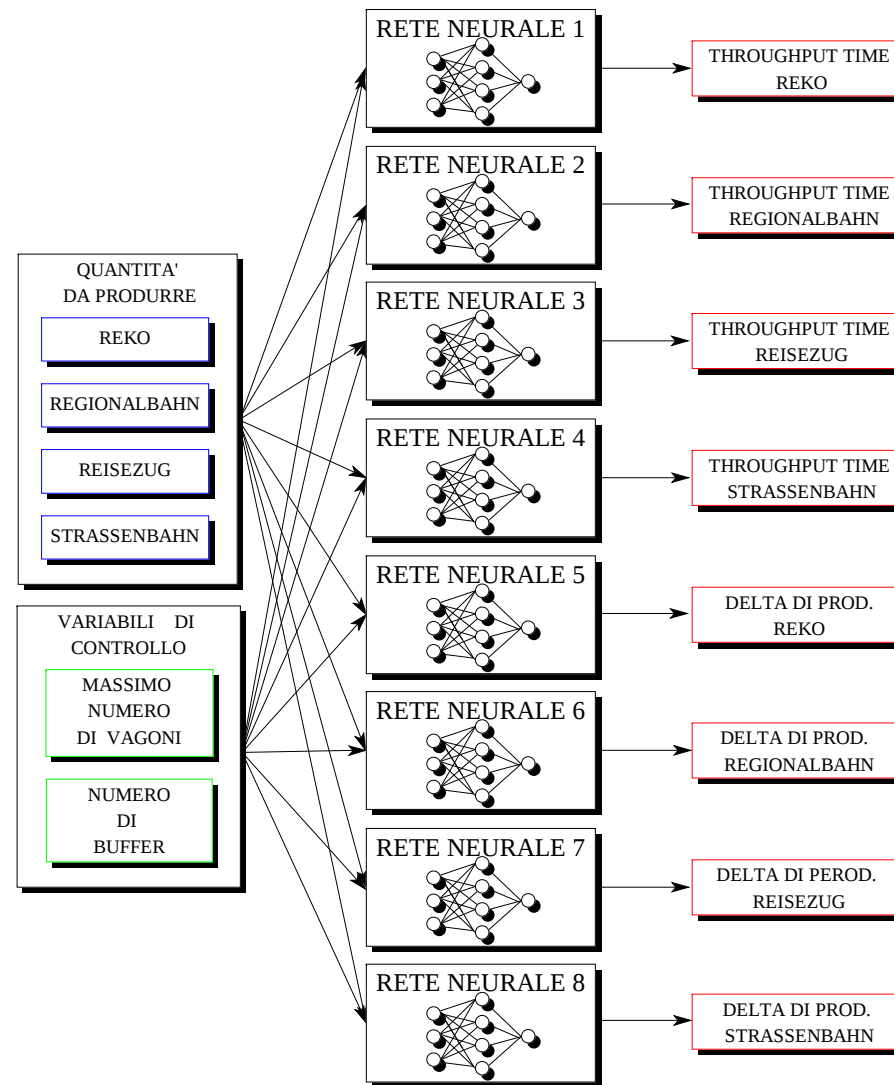
Simulatore neurale per la configurazione di un impianto di verniciatura di vagoni ferroviari (2): lay-out del reparto di verniciatura



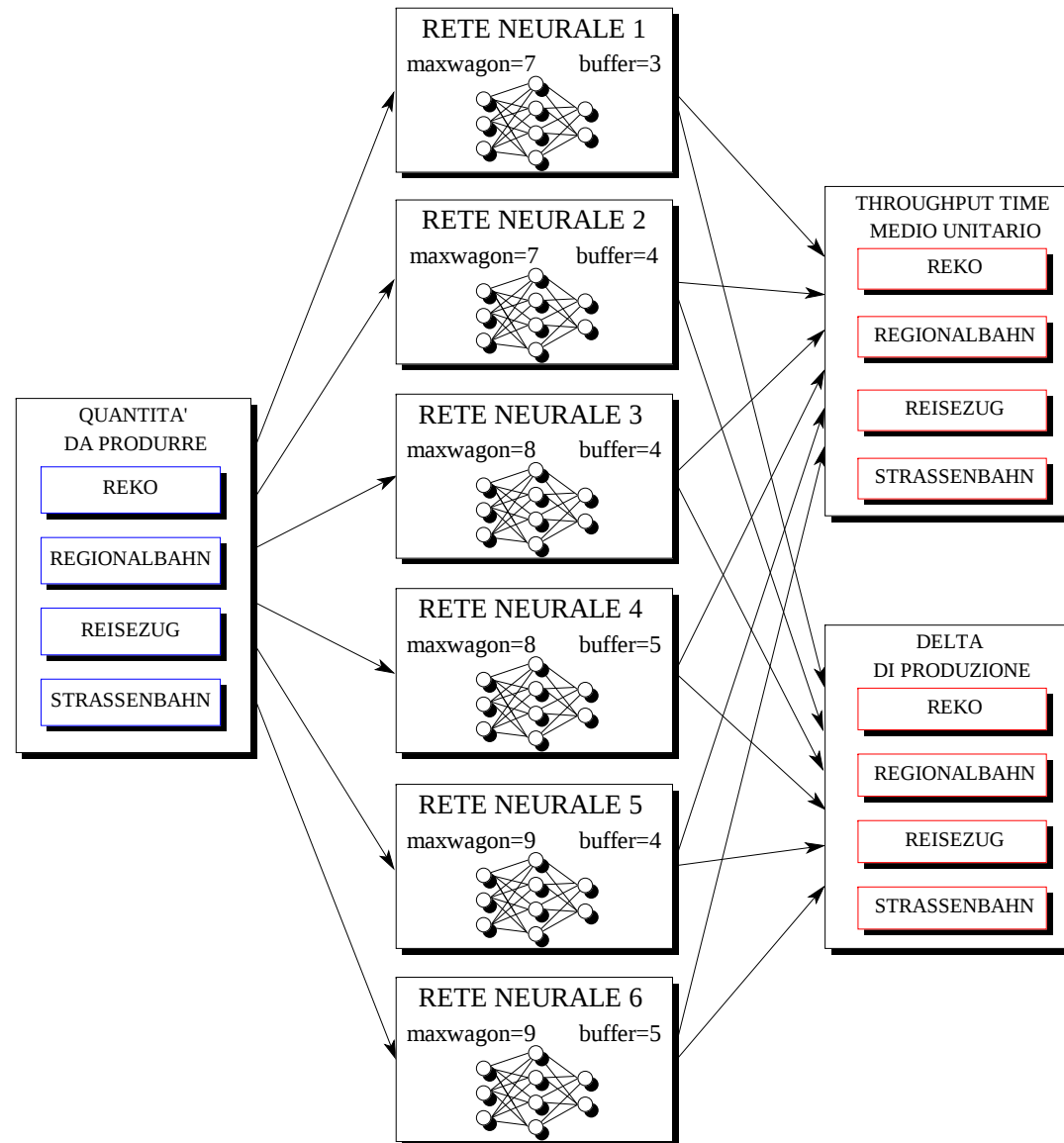
Simulatore neurale per la configurazione di un impianto di verniciatura di vagoni ferroviari (3): emulazione con una sola RN



Simulatore neurale per la configurazione di un impianto di verniciatura di vagoni ferroviari (4): emulazione con otto RN



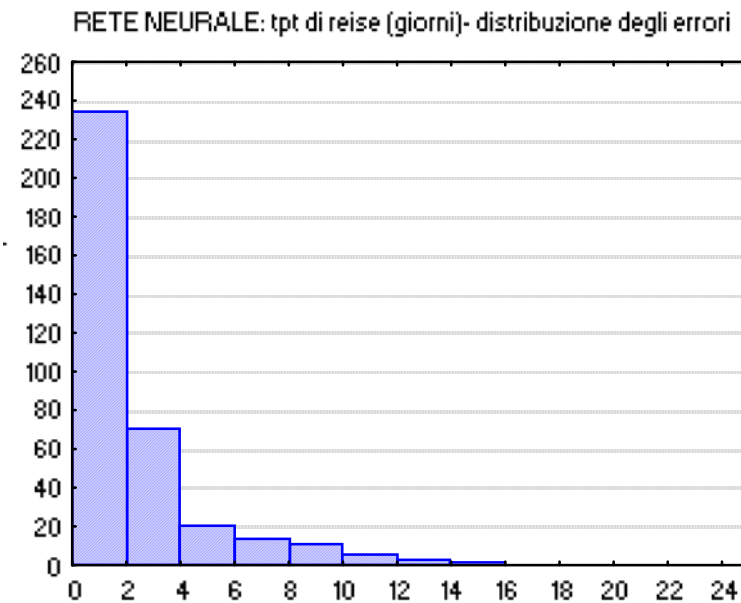
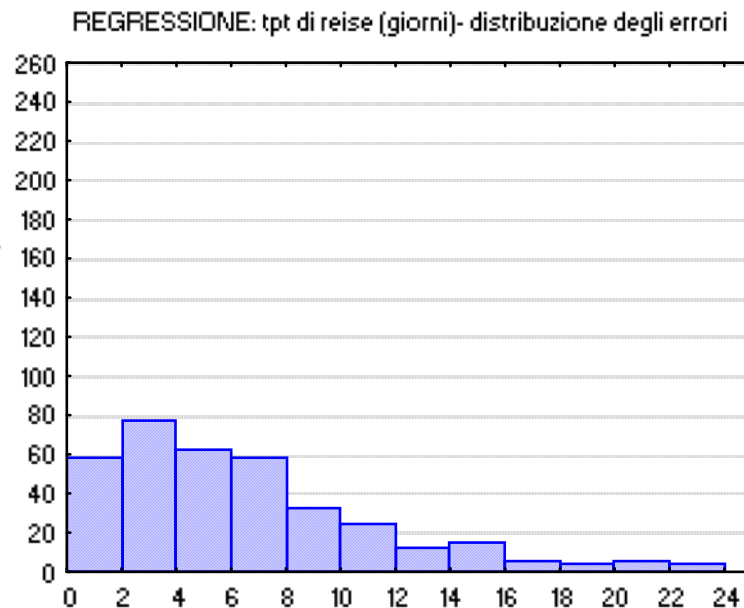
Simulatore neurale per la configurazione di un impianto di verniciatura di vagoni ferroviari (5): emulazione con sei RN



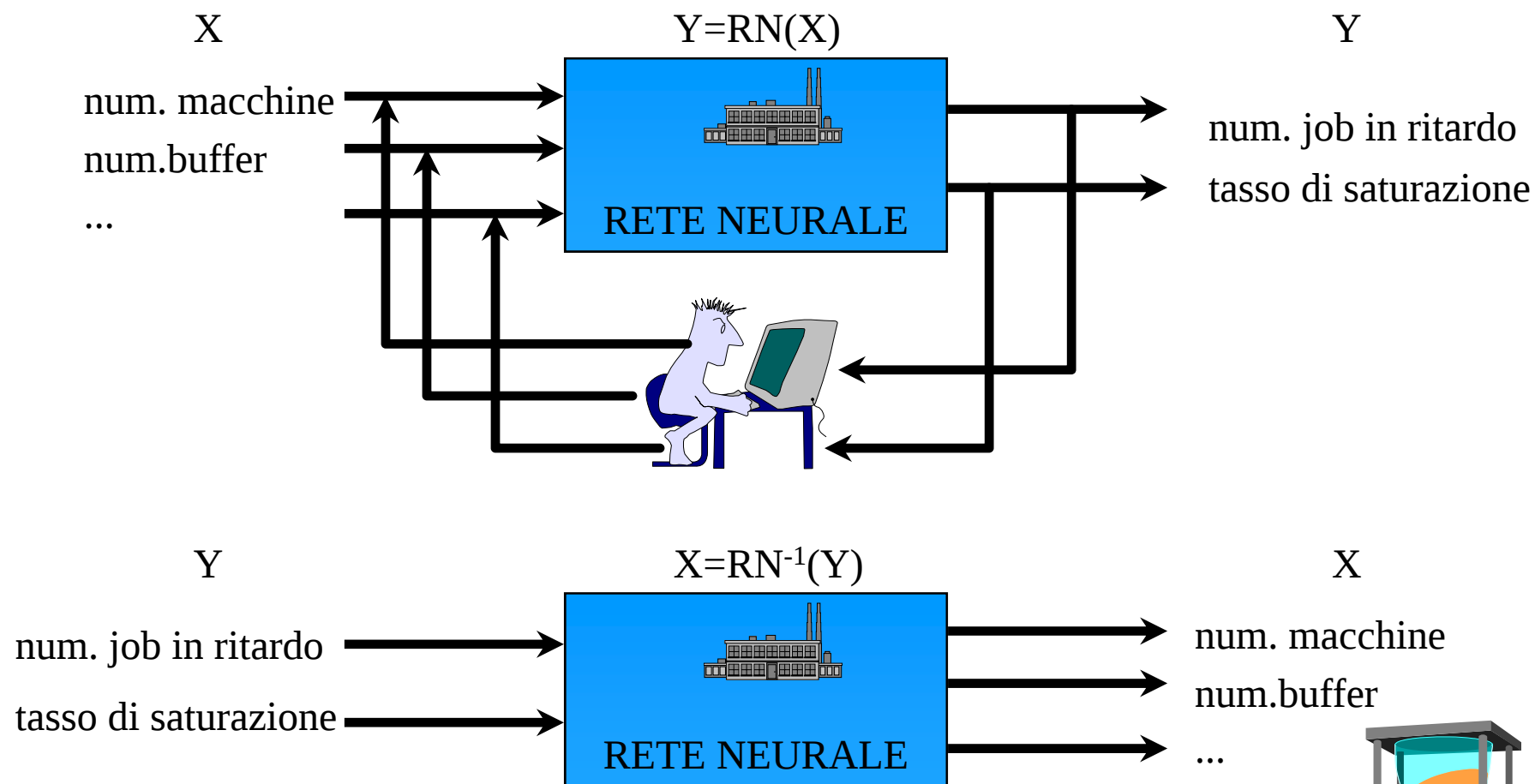
Simulatore neurale per la configurazione di un impianto di verniciatura di vagoni ferroviari (6): confronto con un modello di regressione

$$\log y_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^N \beta_k \log x_k + \sum_{k < j}^N \sum \beta_{kj} \log x_k \log x_j + \varepsilon_i$$

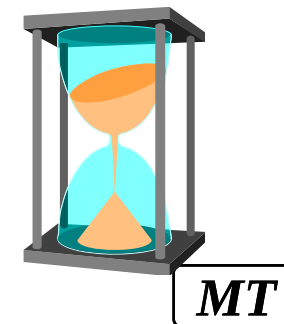
	errore massimo (giorni) del tpt direisezug	errore medio (giorni) del tpt di reisezug	fattore di generalizzazione (%) previsto con errore < di 6 gg
regressione	23	5.94	64.7 %
rete neurale	15	2.38	89.7 %



Costruzione di un ottimizzatore neurale



N.B. La soluzione si ottiene in un'unica esecuzione



Benefici dell'uso delle RN alla produzione industriale

- ☺ Sistemi di tipo data-driven anziché model-driven
- ☺ Facilità d'uso
- ☺ Costi contenuti rispetto ad altre tecniche
- ☺ Possibilità di risoluzione di problemi attualmente non risolvibili in modo automatico

Algoritmi genetici (AG): definizione e principio di funzionamento

- Gli AG si basano su un modello probabilistico di ricerca ed effettuano iterativamente alcune operazioni su una *popolazione* di possibili soluzioni del problema.
- Una popolazione è costituita da un insieme di individui ciascuno dei quali è rappresentato da una stringa di caratteri o bit, detto *cromosoma*;
- Ogni posizione all'interno del cromosoma (*gene*) simula il comportamento di una particolare variabile del problema in esame;
- Es: ADFBGEC può rappresentare la sequenza dei job in coda ad una macchina per la lavorazione

Fasi di funzionamento degli AG

- 1) inizializzazione della popolazione;
- 2) selezione delle soluzioni “migliori”, ossia dei singoli cromosomi, sulla base di una funzione di fitness, e attribuzione di una probabilità di riproduzione al singolo individuo in funzione del suo fitness ;
- 3) riproduzione, in cui si passa da una generazione a quella successiva mediante l'utilizzo di operatori di riproduzione;
- 4) test di fine (eventuale riciclo sulla fase 2).

Operatori di riproduzione (alcuni esempi)

- **crossover (one-point crossover)**

G1	2 1 3 4 5 6 7	F1	2 1 3 4 5 7 6
G2	4 3 1 2 5 7 6	F2	4 3 1 2 5 6 7

Diagram illustrating one-point crossover. Parent G1 (2 1 3 4 5 6 7) and Parent G2 (4 3 1 2 5 7 6) are shown. A vertical arrow points to the third position (between 3 and 4) in both parent sequences. The resulting offspring are F1 (2 1 3 4 5 7 6) and F2 (4 3 1 2 5 6 7), where the segments after the crossover point have been swapped.

- **crossover (two-point crossover)**

G1	2 1 3 4 5 6 7	F1	2 1 4 3 5 7 6
G2	4 3 1 2 5 7 6	F2	4 3 1 2 5 6 7

Diagram illustrating two-point crossover. Parent G1 (2 1 3 4 5 6 7) and Parent G2 (4 3 1 2 5 7 6) are shown. Two vertical arrows point to the second position (between 1 and 3) and the fourth position (between 4 and 5) in both parent sequences. The resulting offspring are F1 (2 1 4 3 5 7 6) and F2 (4 3 1 2 5 6 7), where the segment between the two crossover points has been swapped.

- **mutazione (exchange)**

G1	2 1 3 4 5 6 7	F1	2 1 6 4 5 3 7
----	---------------	----	---------------

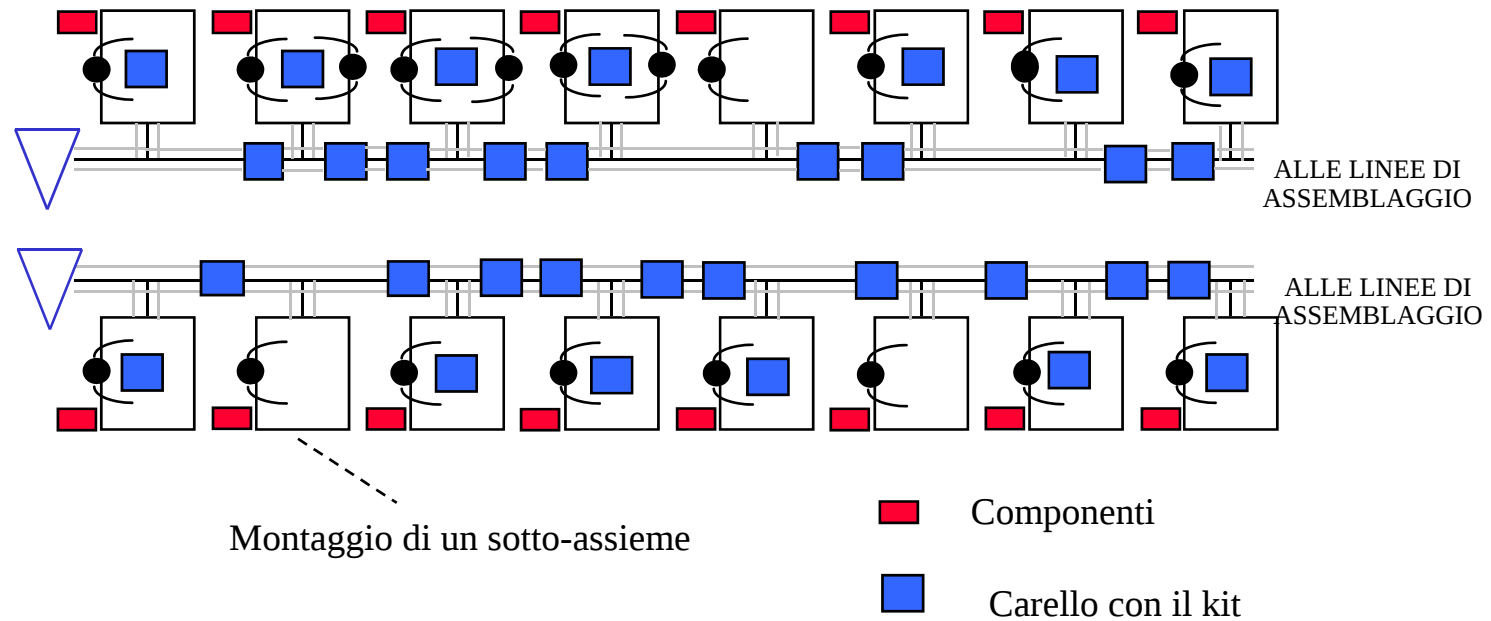
Diagram illustrating mutation (exchange). Parent G1 (2 1 3 4 5 6 7) is shown. Two vertical arrows point to the third position (between 1 and 3) and the sixth position (between 5 and 6) in the parent sequence. The resulting offspring F1 (2 1 6 4 5 3 7) shows the elements at these positions (3 and 6) swapped.

- **mutazione (shift)**

G1	2 1 3 4 5 6 7	F1	2 4 1 3 5 6 7
----	---------------	----	---------------

Diagram illustrating mutation (shift). Parent G1 (2 1 3 4 5 6 7) is shown. A vertical arrow points to the third position (between 1 and 3) in the parent sequence. The resulting offspring F1 (2 4 1 3 5 6 7) shows the element at the third position (3) shifted to the second position, and the element at the second position (1) shifted to the third position.

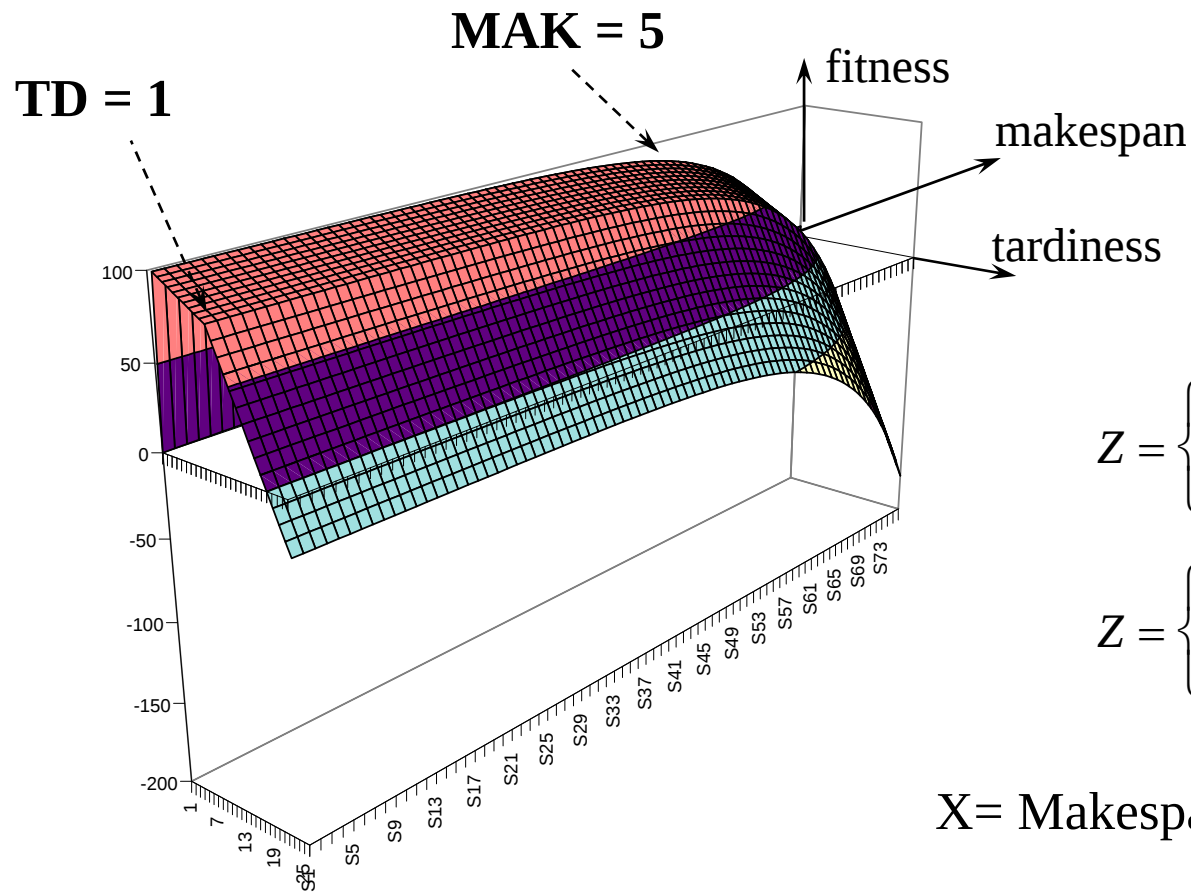
Scheduling di un impianto di pre-montaggio caldaie: l'impianto



Scheduling di un impianto di pre-montaggio caldaie: il problema

- Progettazione di un algoritmo di scheduling con l'obiettivo di:
 - assegnazione dei lotti di produzione ad ogni linea;
 - sequencing dei lotti assegnati;
- allo scopo di:
 - minimizzare il tardiness medio del mix di produzione settimanale (i.e. soddisfazione dei requisiti del cliente);
 - minimizzazione del makespan del mix di produzione settimanale (i.e. garantire un appropriato bilanciamento delle due linee).
- Vincoli:
 - le linee hanno differente capacità produttiva;
 - tempi e due-date dipendono dal lotto;
 - i tempi di set-up dipendono dalla sequenza;
 - i tempi sono probabilistici.

Scheduling di un impianto di pre-montaggio caldaie: la funzione di fitness

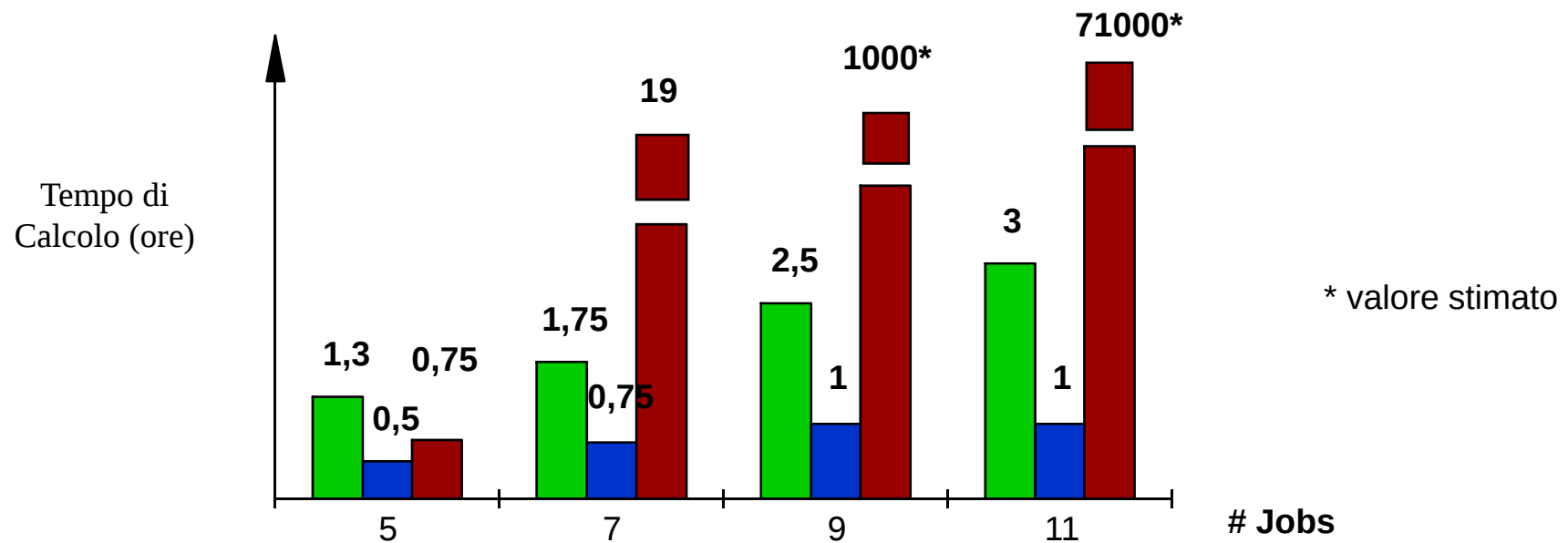
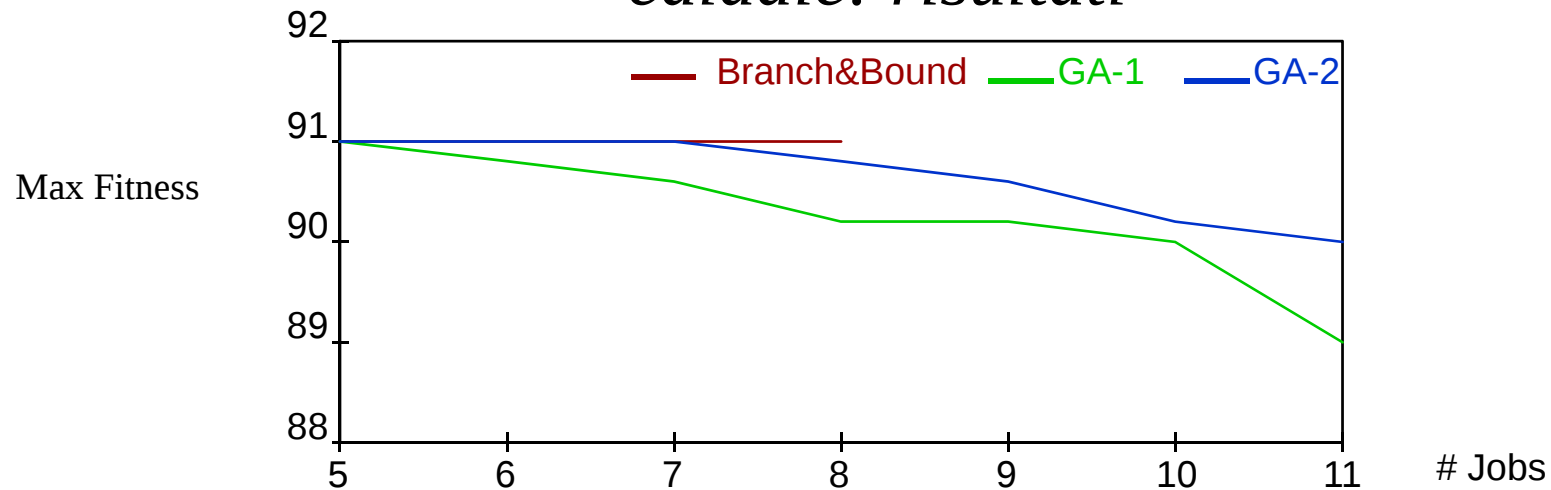


$$Z = \begin{cases} 100 - 20Y - 3^{(X-3)} \\ Y < 1 \end{cases}$$

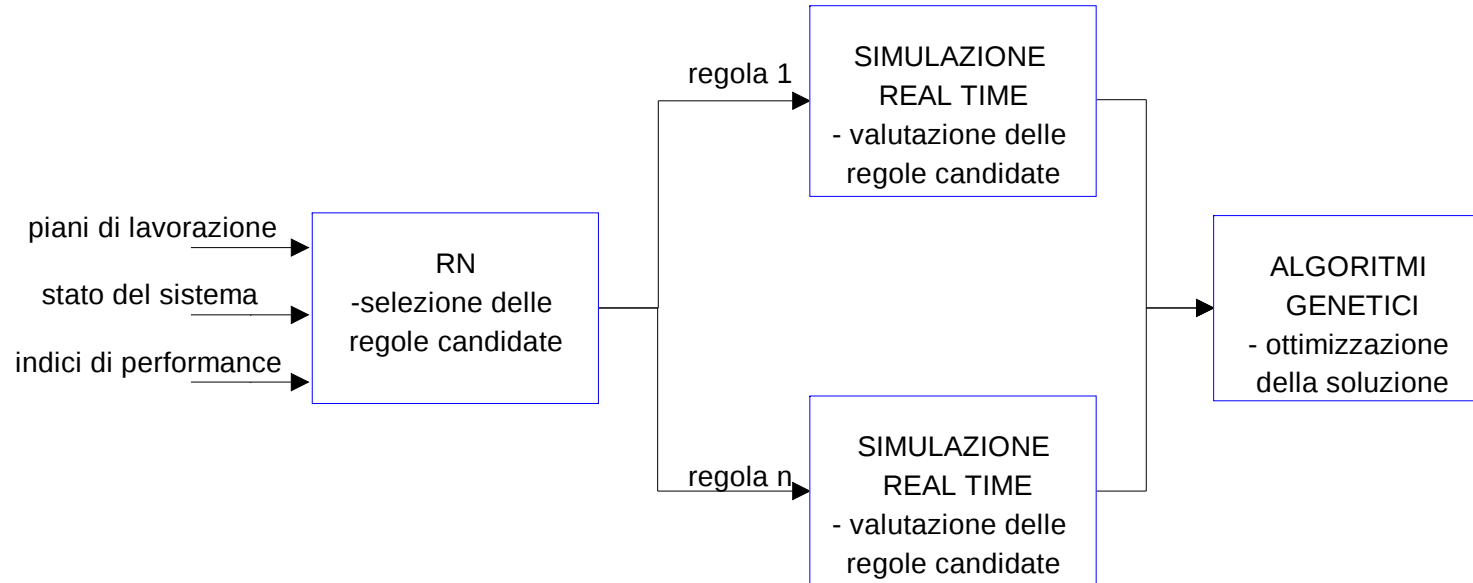
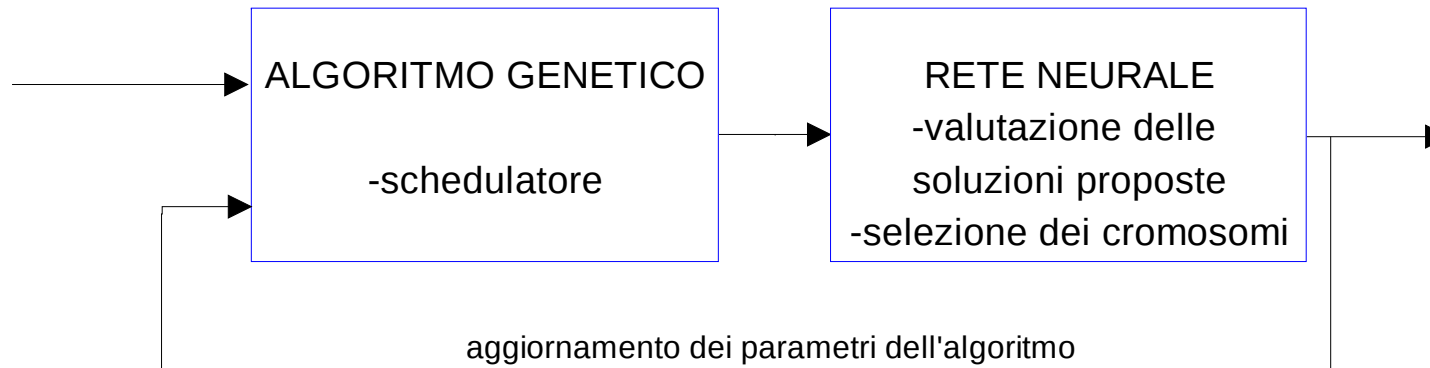
$$Z = \begin{cases} 160 - 80Y - 3^{(X-3)} \\ Y \geq 1 \end{cases}$$

X= Makespan Y = Tardiness

Scheduling di un impianto di pre-montaggio caldaie: risultati



Esempi di applicazioni di AG per lo scheduling (applicazioni ibride)



Pregi e difetti dell'uso degli Algoritmi Genetici alla produzione industriale

- ☺ Velocità di risoluzione di problemi combinatoriali complessi
- ☺ Possibilità di ricorrere a soluzioni destrutturate
- ☹ Difficoltà di descrizioni dei vincoli (vale anche per la P.L.)
- ☹ Difficoltà di rappresentazione della soluzione